



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Maria Gomes Coelho

Integração do Uso de Água para
Reutilização nos Sistemas de Distribuição



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Maria Gomes Coelho

Integração do Uso de Água para Reutilização nos Sistemas de Distribuição

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Doutora Maria Manuela Carvalho de Lemos Lima

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Perante a conclusão de mais uma etapa da minha vida académica, expresso a mais profunda e sincera gratidão á Professora Doutora Maria Manuela C.L. Lima, por todo o apoio, gentileza e disponibilidade demonstrada ao longo destes últimos meses.

Não posso deixar de agradecer aos docentes que compõem o Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, pela prestação de um ensino altamente qualificado e exigente, bem como pelo seu contínuo apoio e incentivo ao longo do meu percurso académico.

Agradeço aos meus pais e irmãos, pelo carinho e compreensão que tiveram para comigo ao longo desta etapa. Com o vosso incentivo e apoio incondicional, os desafios que a vida trouxe e trará, tornam-se mais leves e fáceis de enfrentar.

Presto também o meu mais sincero e profundo agradecimento, á restante família e amigos, pelos bons momentos partilhados ao longo desta caminhada. A vossa presença trouxe alegria e leveza, mesmo nos momentos mais desafiantes.

A todos, a minha eterna gratidão por fazerem parte desta etapa da minha vida.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio, nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

Integração do Uso de Água para Reutilização nos Sistemas de Distribuição

O crescimento populacional a um ritmo exacerbante e as secas extremas que se verificam em várias partes do mundo, estão a contribuir significativamente para uma diminuição na quantidade de água potável disponível no planeta. A falta deste recurso primário e essencial, pode levar a consequências catastróficas como o aumento da fome e das desigualdades sociais, a guerra, e por fim, o colapso das economias.

A presente dissertação dedica-se ao estudo aprofundado de uma das soluções parciais para esta problemática, inspirada no ciclo hidrológico da água: a reutilização da água e a gestão dos seus sistemas.

Neste contexto, explora-se de forma exaustiva e pormenorizada, os distintos sistemas de reutilização da água, os diferentes usos onde poderão ser aplicadas, as águas para reutilização, e por fim os tratamentos físicos, químicos, e biológicos que tornam possível a reutilização da água, de acordo com uma abordagem *fit-for-all* ou *fit-for-purpose*.

Posteriormente, procedeu-se à análise de um caso de sucesso, na aplicação de águas residuais tratadas, ocorrido em Singapura, explorando os fatores e os motivos que levaram o país a ser pioneiro e líder na área da reutilização da água.

Por último, aborda-se a importância e os diversos processos inerentes à gestão eficaz dos sistemas de reutilização de água, a fim de garantir um abastecimento fiável e seguro, tanto em qualidade como em quantidade, assegurando assim a sustentabilidade dos recursos hídricos e o bem-estar das populações. A gestão dos sistemas de águas para reutilização é bastante abrangente, contendo áreas, como a gestão do risco ou a gestão patrimonial de infraestruturas. Uma gestão global e eficiente, exige uma interligação e coordenação eficazes entre os diversos intervenientes, a implementação de planos aos diferentes níveis de aplicação, uma repartição clara das responsabilidades, e por fim um conjunto de indicadores que regulem o serviço.

Palavras-chave: Águas para reutilização; Gestão; Planeamento; Risco.

ABSTRACT

Integration of Water Reuse in Distribution Systems

Population growth at an exacerbating rate and extreme droughts in various parts of the world are contributing significantly to a decrease in the amount of drinking water available on the planet. The lack of this primary and essential resource can lead to catastrophic consequences such as increased hunger and social inequalities, war and, ultimately, the collapse of economies.

This dissertation is dedicated to the in-depth study of one of the partial solutions to this problem, inspired by the hydrological cycle of water: the reuse of water and the management of its systems.

In this context, the different water reuse systems, the different uses to which they can be put, the water that can be reused and, finally, the physical, chemical and biological treatments that make water reuse possible are explored in detail, according to a fit-for-all or fit-for-purpose approach.

Subsequently, we analysed a success story in the application of treated wastewater in Singapore, exploring the factors and reasons that led the country to be a pioneer and leader in the area of water reuse.

Finally, the importance and various processes inherent in the effective management of water reuse systems are addressed, in order to guarantee a reliable and safe supply, both in quality and quantity, thus ensuring the sustainability of water resources and the well-being of the population.

The management of reuse water systems is wide-ranging and includes areas such as risk management and infrastructure asset management. Overall, efficient management requires effective interconnection and coordination between the various stakeholders, the implementation of plans at the different levels of application, a clear division of responsibilities and, finally, a set of indicators to regulate the service.

Keywords: Management; Planning; Risk; Wastewater reuse.

ÍNDICE

Direitos de Autor e Condições de Utilização do Trabalho por Terceiros.....	ii
Agradecimentos.....	iii
Declaração de Integridade	iv
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Lista de Abreviaturas e Siglas	x
Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas	xii
1 Introdução	13
1.1 Enquadramento temático.....	13
1.2 Objetivos	15
1.3 Organização da dissertação	16
2 Enquadramento histórico dos sistemas de abastecimento de água e panorama atual.....	18
3 Sistemas de abastecimento de água e o seu funcionamento.....	26
4 Sistemas de água para reutilização	37
4.1 A urgência do investimento na reutilização da água.....	37
4.2 As diferentes formas de reutilização e poupança de água	43
4.2.1 Sistemas descentralizados de águas para reutilização (ApR).....	46
4.2.2 Sistemas centralizados de águas para reutilização (ApR)	47
4.3 Os diferentes usos e aplicações da águas para reutilização (ApR)	50
4.3.1 Uso agrícola	50
4.3.2 Uso paisagístico	51
4.3.3 Uso industrial	52
4.3.4 Uso para recarga de aquíferos.....	53

4.3.5	Usos ambientais e recreativos	54
4.3.6	Usos urbanos não potáveis.....	54
5	Tratamento de águas residuais e o respetivo uso.....	56
5.1	Breve caracterização das águas residuais	56
5.2	O papel das ETARs na salvaguarda da saúde pública e da proteção ambiental.....	60
5.3	Tratamento preliminar	63
5.4	Tratamento primário	64
5.5	Tratamento secundário	65
5.5.1	Sistemas de biomassa suspensa	65
5.5.2	Sistemas de biomassa fixa.....	67
5.5.3	Remoção biológica de azoto e fósforo	68
5.6	Tratamento terciário	69
5.6.1	Desinfecção	70
5.7	Tratamento avançado	72
5.8	Esquematização final da ETAR e os usos da ApR.....	75
6	Singapura: um caso de sucesso e inovação na implementação dos sistemas de distribuição e armazenamento de águas para reutilização	78
7	Gestão: conceito, definições e a utilidade de gerir	88
7.1	Gestão patrimonial de infraestruturas hidráulicas	94
7.1.1	Planeamento estratégico	96
7.1.2	Planeamento tático.....	98
7.1.3	Planeamento Operacional.....	100
7.2	Gestão do risco.....	103
7.2.1	Avaliação do risco.....	105
7.2.2	Planos de monitorização.....	111

7.3	Identificação dos possíveis indicadores de qualidade de serviço para redes de distribuição de ApR, atendendo aos potenciais usos: doméstico, agrícola ou industrial	113
7.4	Elaboração de uma proposta de plano de gestão tático de infraestruturas de ApR, com base nos princípios da gestão patrimonial de infraestruturas	119
8	Considerações finais	123
8.1	Conclusões.....	123
8.2	Sugestões para trabalhos futuros	125
	Referências bibliográficas	126
	Anexo I	131
	Anexo II	132
	Anexo III	133
	Anexo IV	135
	Anexo V	136
	Anexo VI	142
	Anexo VII	143
	Anexo VIII	144

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ApR	Águas para reutilização
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
ETA	Estação de tratamento de água
EE	Estação elevatória
EG	Entidade gestora
FFD	Ferro fundido dúctil
PVC	Policloreto de vinila
SDAApR	Sistema de distribuição e armazenamento de águas para reutilização
ETAR	Estação de tratamento de águas residuais
ARD	Águas residuais domésticas
ARI	Águas residuais industriais
ARU	Águas residuais urbanas
AR	Águas residuais
O&M	Operação e manutenção
SS	Sólidos suspensos
ART	Águas residuais tratadas
GPI	Gestão patrimonial de infraestruturas
BRM	Biorreator de membrana

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cisternas datadas da Idade do Bronze no Deserto do Neguev	19
Figura 2: Conduitas no complexo arqueológico de Knossos (Creta)	19
Figura 3: Parafuso de Arquimedes	20
Figura 4: Aqueduto de Segóvia.....	22
Figura 5: Esquema geral da estação de captação de água do rio Sado em Ermidas do Sado	29
Figura 6: Interseção da curva característica da instalação com a curva característica da bomba.....	30
Figura 7: Fenómeno de cavitação nas pás de uma bomba	32
Figura 8: Esquema geral de uma ETA	34
Figura 9: Ciclo urbano da água	36
Figura 10: Os 17 ODS.....	38
Figura 11: Ciclo hidrológico da água	41
Figura 12: Os diferentes usos de água num edifício comercial.....	44
Figura 13: Os diferentes usos da água num edifício residencial multifamiliar	44
Figura 14: Gestão de sistemas descentralizados e respetiva responsabilidade	47
Figura 15: Esquematização das partições das responsabilidades de um sistema centralizado.....	47
Figura 16: Vista aérea da ETAR de Vilamoura.....	60
Figura 17: Esquema geral de uma ETAR.....	74
Figura 18: Diagrama esquemático de uma ETAR.....	76
Figura 19: Mapa da infraestrutura da NEWater em Singapura	80
Figura 20: Comparação do processo atual de produção da NEWater com o processo de BRM	81
Figura 21: A abordagem de múltiplas barreiras adotada para a produção da NEWater.....	82
Figura 22: Gestão patrimonial de infraestruturas: uma visão integrada	94
Figura 23: Fases do processo de elaboração de um plano estratégico	97
Figura 24: Fases do processo de elaboração de um plano tático	99
Figura 25: Fases do processo de elaboração de um plano operacional	101
Figura 26: Esquema da avaliação do risco sobre a saúde.....	105
Figura 27: Matriz de caracterização qualitativa do dano associado a cada cenário.....	108
Figura 28: Diagrama da avaliação do risco.....	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação de bombas de elevação de água	31
Tabela 2: Operações e processos de tratamento por nível de tratamento e respetiva classe de constituintes eliminadas	75
Tabela 3: Entidades titulares, Modelos de gestão e Entidades gestoras.....	92
Tabela 4: Níveis de planeamento	96
Tabela 5: Responsabilidade da implementação de programas de monitorização de verificação de conformidade (Fonte: Adaptada de APA (2019)).....	112
Tabela 6: Indicadores de qualidade de serviço dos sistemas de distribuição e armazenamento de ApR	116
Tabela 7: <i>Template</i> de um plano de gestão tática de um sistema de ApR	122

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento temático

Atualmente, a crescente procura por recursos hídricos para múltiplos fins, como o abastecimento público de água, agricultura, indústria, usos recreativos e outros, está a levar à escassez de água e à deterioração da sua qualidade.

As condições meteorológicas severas e imprevisíveis, intensificadas pelas alterações climáticas, como as secas, juntamente com o desenvolvimento urbano estão a exercer uma pressão significativa sobre os recursos de água doce, (Rebelo et al., 2020) agravando ainda mais, o panorama atual.

Tudo isso, conduz a uma situação de stress hídrico, esta ocorre quando os recursos hídricos se tornam insuficientes para atender às necessidades das populações (Regulamento (UE) 2020/471, 2020).

Para enfrentar esta situação, tem-se dado especial atenção à reutilização da água nos últimos anos, sendo esta reconhecida como uma prática que ajuda a gerir os recursos hídricos de forma mais eficiente e a adaptar os nossos sistemas às alterações climáticas, de acordo com o Regulamento (UE) 2020/471.

O uso de águas para reutilização, pode propiciar benefícios ambientais, sociais e económicos significativos, contribuindo para melhoria do ambiente, tanto em termos quantitativos, ao reduzir a pressão sobre a captação de volumes de água, como em termos qualitativos, ao diminuir as descargas de águas residuais tratadas em áreas sensíveis. Para além disso, em comparação com outras fontes alternativas de abastecimento de água, como sejam a dessalinização ou a transferência de água, a reutilização de água, muitas vezes, tende a requerer menores custos de investimento e consumos energéticos, contribuindo assim, para a redução das emissões de gases com efeito de estufa.

Esta solução tem sido incentivada através de medidas legislativas como o Decreto-Lei n.º 119/2019, que estabelece o regime jurídico de produção de água para reutilização (ApR), obtida a partir do tratamento de águas residuais, bem como da sua utilização, por forma a promover a sua correta utilização e a evitar efeitos nocivos para a saúde e para o ambiente.

O presente decreto-lei aplica-se à reutilização de água proveniente de estações de tratamento de águas residuais (ETAR) domésticas, urbanas e industriais, destinada a usos compatíveis com a qualidade da mesma, designadamente de rega, de usos paisagísticos, de usos urbanos e industriais.

Uma vez selecionados os possíveis usos, torna-se imprescindível a definição das normas de qualidade e do tratamento a aplicar às águas residuais, de modo que satisfaçam os requisitos da utilização pretendida e que não coloquem em causa a saúde pública e o ambiente. Com este fim são possíveis dois tipos de abordagem: *fit-for-all* ou *fit-for-purpose*.

A primeira abordagem preconiza a adoção de critérios e um esquema de tratamento que cumpram as condições de qualidade para os usos mais exigentes (ex: usos potáveis), independentemente da tipologia de utilização em causa, e é comumente aplicada nos sistemas centralizados.

Por outro lado, numa abordagem *fit-for-purpose*, que é adequada para análises caso-a-caso, os recursos são dirigidos para onde são efetivamente necessários, assegurando que a qualidade da água atenda ao fim pretendido, sem comprometer a proteção da saúde humana e do ambiente (Rebelo, 2018).

No entanto, os potenciais efeitos adversos da reutilização da água sobre a saúde e sobre o ambiente são alvo de preocupação, o que leva a uma necessidade premente de definição de normas e regras a aplicar à prática de reutilização de água, bem como o desenvolvimento de metodologias para a respetiva avaliação do risco. A ausência destes mecanismos poderá levar à perda de oportunidade de desenvolvimento de práticas apropriadas e sustentáveis de reutilização de água.

Para que o uso das águas para reutilização (ApR), tenha sucesso, é então necessário que haja uma gestão coordenada e eficiente entre os vários intervenientes, assim como uma comunicação clara e informativa entre as entidades que gerem os sistemas de ApR e o público.

A gestão dos sistemas de ApR abrangerá várias vertentes como a gestão patrimonial de infraestruturas, onde através da elaboração de planos em diferentes níveis e da coordenação entre estes, tenta-se cumprir o objetivo principal de assegurar a otimização do desempenho, garantir a sustentabilidade e prolongar a longevidade dos ativos físicos.

Como todos os outros serviços adjacentes ao setor da água, a reutilização das águas residuais tratadas, requer uma regulação através de um sistema de indicadores de qualidade do serviço, esse permite uma uniformização da recolha de informação e a avaliação do desempenho do sistema.

Posto isto, a reutilização da água, tem todo um potencial para mitigar as adversidades impostas pelas alterações climáticas, mas para que isso ocorra é necessário desenvolver ferramentas e infraestruturas que permitam concretizar essa solução, a nível europeu.

1.2 Objetivos

A presente dissertação tem como principal foco, demonstrar de que forma um sistema de distribuição e armazenamento de águas para reutilização poderá ser gerido, com uma repartição clara das responsabilidades entre os intervenientes, de modo a torná-lo num ativo sustentável e uma solução atrativa de ponto de vista económico e social. Além desse objetivo geral, pretende-se também, que esta dissertação de mestrado, funcione como um manual de referência ou de consulta na área, no qual a informação sobre a reutilização da água e a sua gestão, esteja reunida de forma pragmática.

Destacam-se os seguintes objetivos específicos:

- Demonstração da necessidade urgente da implementação de sistemas de ApR, e da sua legitimidade como solução no combate às alterações climáticas, com a exposição de diferentes formas de reutilizar a água e os diferentes sistemas existentes;
- Identificação e descrição dos diversos tratamentos de águas residuais disponíveis no mercado, que possibilitam a reutilização da água;
- Exposição exaustiva de um caso de sucesso de reutilização da água, de forma a demonstrar que, a reutilização da água não é uma prática recente, e que já é uma realidade em alguns países como Singapura;
- Demonstração da importância da gestão e avaliação do risco, explorando os diferentes tipos de riscos e as respetivas medidas mitigadoras;
- Destacar a relevância de regulação deste tipo de serviço, através da identificação dos possíveis indicadores de qualidade de serviço para redes de distribuição de ApR;
- Elaboração de uma proposta de um plano de gestão tática de infraestruturas de ApR, com base nos princípios de gestão patrimonial;

1.3 Organização da dissertação

O presente trabalho subdivide-se em oito capítulos.

No primeiro capítulo, pretende-se realizar o enquadramento acerca do tema da dissertação, identificar os objetivos e definir a estrutura da dissertação.

No segundo capítulo, aborda-se numa perspetiva histórica, a evolução dos sistemas de abastecimento de água, desde a antiguidade até aos tempos atuais. Também, neste capítulo, evidencia-se, que a prática da economia circular, não é algo exclusivo da contemporaneidade, e que, pelo contrário era amplamente adotada nos tempos antigos.

No terceiro capítulo, apresentam-se as etapas necessárias para a realização de um projeto de um sistema de abastecimento de água. Uma vez que esses sistemas tem infraestruturas e funcionamento semelhantes ao sistemas centralizados de ApR, exceto na origem da água e no tratamento, entende-se como necessária a exposição deste capítulo.

No quarto capítulo, exploram-se os motivos para a imposição urgente da prática da reutilização da água, apresentam-se os diferentes tipos de sistemas de reutilização da água e por fim, os variados usos, em que as águas para reutilização podem ser aplicadas.

O quinto capítulo, aborda todo o processo realizado nas estações de tratamento de águas residuais (ETARs), de modo a transformar as águas residuais em águas com as características necessárias á reutilização, sendo que esse processo é ajustado consoante o respetivo uso.

Também neste capítulo destaca-se e explora-se a importância das ETARs na proteção do ambiente.

No sexto capítulo, explora-se com profundidade, um caso de sucesso mundial e inovação, na área da reutilização da água, localizado em Singapura. Expõe-se os motivos que levaram a adoção desta solução, descreve-se o processo de produção da ApR, e elencam-se os fatores-chave que levaram ao sucesso dos sistemas de distribuição e armazenamento de águas para reutilização, em Singapura.

O sétimo capítulo, aborda todo um universo referente á gestão, desde a sua definição á sua necessidade de implementação em sistemas de ApR.

No âmbito desse capítulo, define-se quais os modelos de gestão a serem adotados, esquematiza-se a avaliação do risco e estabelecem-se os planos de monitorização.

Expressa-se também a necessidade da regulação neste tipo de serviço, através da sugestão de alguns indicadores de desempenho.

Por fim elabora-se um *template* de um plano de gestão tática de infraestruturas de ApR, com base nos princípios de gestão patrimonial;

Por fim, no oitavo capítulo, sintetiza-se as conclusões obtidas com a realização da presente dissertação de mestrado, e sugere-se algumas recomendações para trabalhos futuros.

2 ENQUADRAMENTO HISTÓRICO DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E PANORAMA ATUAL

As primeiras civilizações humanas surgidas, há cerca de 9000 anos, nas bacias hidrográficas do Rio Tigre e Eufrates (atuais Turquia, Síria e Iraque), floresceram com a domesticação dos animais e a descoberta da agricultura.

Como este desenvolvimento e abundância, deu-se sobretudo devido à presença de um fluxo de água, permanente espacialmente e temporariamente, não tardaram a surgir novas civilizações em outras bacias hidrográficas extensas como a do Rio Nilo e a do Rio Indo.

Há cerca de 6000-7000 anos, as aldeias agrícolas do Próximo e Médio Oriente transformaram-se em cidades, (Mays, 1999), e como tal, foi necessário desenvolver um sistema que transportasse a água para empreender as tarefas do dia-a-dia.

Nascem assim, os primeiros sistemas de abastecimentos de água, ainda que bastantes primitivos, estes foram desenvolvidos com os conhecimentos que os antigos possuíam sobre a água, que se baseavam na observação geológica e meteorológica (Crouch, 1993).

No deserto do Neguev (Israel), através de um estudo realizado por cientistas israelenses, foram localizadas cisternas, no sopé das encostas presentes no deserto, datadas da Idade do Bronze e do Ferro (3500-1000 a.c.), o que sugere que mesmo em ambientes áridos, os seres humanos tiveram uma incrível capacidade de adaptação, e também evidencia a preocupação do ser humano com a reutilização da água.

Umas cisternas eram escavadas e construídas em marga argilosa, de forma a reter água da chuva colhida neste material natural impermeável e outras cisternas eram escavadas em calcário mole ou duro, e posteriormente, eram cobertas do lado de dentro com uma camada de gesso impermeável produzido pelo homem (Ore et al., 2020).



Figura 1: Cisternas datadas da Idade do Bronze no Deserto do Neguev
(Fonte: Ore et al (2020))

De acordo com Crouch (1993), no apogeu da civilização minoica (2000 - 1600 a.c.), na ilha grega de Creta, haveria já um aqueduto que fornecia água á cidade principal da ilha (Knossos), através de condutas, sendo que posteriormente estas ramificavam-se.



Figura 2: Condutas no complexo arqueológico de Knossos (Creta)
(Fonte: The Archaeologist (2021))

Após a decadência da civilização minoica, devido a um terrível terremoto, as cidades-estados gregas começaram a florescer, atingindo o seu esplendor por volta do século V a.c.

A cidade de Atenas desenvolveu-se na zona da acrópole, esta situava-se num afloramento rochoso, onde havia abundância de água natural, o que concedia ao local, uma capacidade excecional para economizar a água da chuva e das nascentes, e que deu origem a uma série de fontes de água diversas incluindo cisternas, poços e nascentes artificiais (Mays, 1999).

Na Grécia antiga, foram desenvolvidos estudos, teorias, e conhecimentos, que ainda hoje são aplicados nas mais diversas áreas desde a matemática, música até á política.

Uma das áreas que foi aprofundada pelos gregos foi a hidráulica, neste ramo destaca-se Arquimedes que formulou pressupostos que descrevem o movimento dos fluídos, elaborou os princípios fundamentais da hidrostática e por último inventou o parafuso de Arquimedes, esta engenhoca ainda hoje é usada e utilizada para transferir os fluídos de uma cota mais baixa para uma cota mais alta.

Como tal a civilização helénica, deixou obras de engenharia hidráulicas esplêndidas como o aqueduto de Eupalinos, na ilha de Samos, que consiste num túnel subterrâneo com uma extensão superior a 1 *km*, e que servia para transportar a água de uma nascente para a cidade principal da ilha.

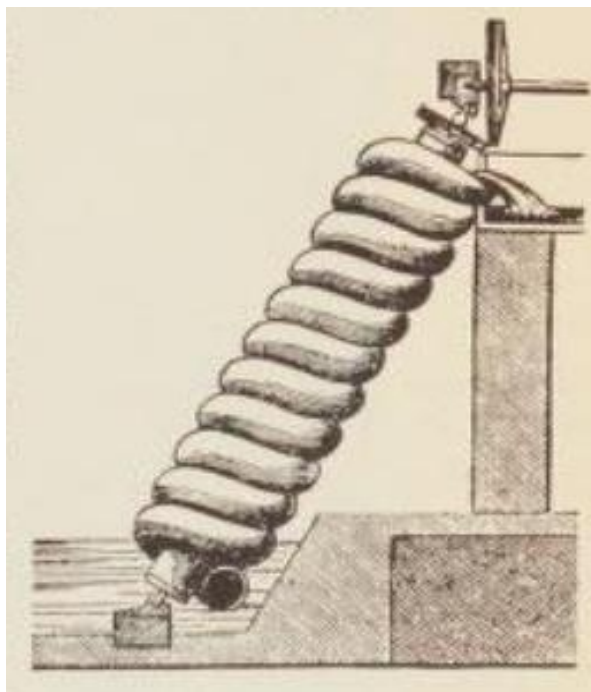


Figura 3: Parafuso de Arquimedes
(Fonte: Rouse & Ince (1957))

Enquanto cidades – estados gregas como Atenas, ou Esparta atingiam o seu apogeu, na região da península itálica, estava em desenvolvimento o império romano, que no século II a.c., viria a conquistar a zona da atual Grécia.

Com esta conquista, os romanos foram influenciados pela cultura grega, adotando vários costumes, inclusive o da higiene.

Para manterem tal hábito, foi necessário empreender infraestruturas como aquedutos, termas, fontes embelezadas, tubos, etc.

Com estes empreendimentos, houve uma evolução do conhecimento acerca do transporte e qualidade da água, pois os romanos, chegaram á conclusão de que a água da nascente era mais salubre do que a água do rio, e também o seu transporte era mais eficaz, pois a água não necessitava de ser elevada ao nível do arruamento.

Embora houvesse já alguma preocupação com o armazenamento da água, em tempos anteriores ao período romano, foi neste período que técnicas de reutilização e armazenamento da água começaram a ser aprofundadas e usadas no coração das zonas urbanas, sendo referido em Mays (1999), que os burgueses prósperos de Roma tinham normalmente uma casa de doze divisões, com um buraco quadrado no telhado para deixar entrar a chuva e uma cisterna por baixo de telhado para armazenar a água da chuva.

A fonte de água de um sistema típico de abastecimento de água de uma cidade romana era uma nascente ou um poço escavado, normalmente com um elevador de baldes para elevar a água.

Se a água do poço fosse límpida e abundante era transportada para a cidade através de um aqueduto, este era construído em estruturas elevadas, semelhantes às atuais pontes, de forma a proporcionar a inclinação necessária ao fluxo de água, e assim servir-se de uma energia de custo zero, a gravidade.

Os aquedutos conduziam a água para um reservatório de distribuição (*castellum*), este dispositivo possuía três saídas através de condutas, uma para piscinas e fontes, a segunda para os banhos públicos, e a terceira para as casas particulares, sendo que estas últimas eram servidas de modo a obter as receitas necessárias á manutenção dos aquedutos (Rouse & Ince, 1957).

Os tubos que derivavam do *castellum*, estavam ligados a este por um encaixe ou bocal, e estavam geralmente enterrados ao longo das ruas principais.

Geralmente, as condutas empregues para o transporte da água eram de cerâmica ou de chumbo, este material tem um efeito nocivo na saúde, embora os romanos tivessem este conhecimento, perante a dificuldade em produzir tubos com outros materiais, o chumbo continuou a ser o material predileto para o fabrico das canalizações romanas.

Naquele tempo, os romanos já tinham uma noção que a água antes de ser consumida, devia possuir um tratamento, assim sendo foram instalados tanques de decantação (*piscinae*) ao longo dos aquedutos para remover sedimentos e matérias estranhas.



Figura 4: Aqueduto de Segóvia
(Fonte: Carpemundi (2016))

Com a queda do império romano, em 476 d.c., inicia-se um período que perdurou cerca de 1000 anos, a Idade Média. Nesta fase negra da história, o saneamento público e a saúde entraram em declínio, por toda a Europa.

A falta de higiene levou, a que pestes como a bubónica, assolassem por completo vilas e cidades europeias.

Em finais do século XIV, surge em Florença, uma corrente humanística, o Renascimento, esta nova filosofia procurava valorizar tudo o que era referente à antiguidade greco-romana, e como tal, o uso da água foi revitalizado, não tanto para restabelecer o hábito higiénico, mas para o embelezamento de jardins através de fontanários, e para tal, foi necessário reabilitar as antigas infraestruturas, como aquedutos, herdadas dos romanos.

No século XIX, no Reino Unido, dá-se a Revolução industrial, que consistiu na transição de métodos de produção artesanais e agrícolas para sistemas industriais mecanizados e impulsionados pela energia. Esta transição conduziu a um crescimento exponencial da economia, o que levou a uma urbanização maciça e conseqüentemente a um crescimento da população, nunca antes observado.

Com a revolução industrial, começou a haver a necessidade de grandes investimentos em sistemas de abastecimento de água, para satisfazer a produção fabril, as tarefas do dia-a-dia da população e por fim evitar epidemias.

Nesta época, surgiram as primeiras companhias fornecedoras de água potável, estas eram formadas por um grupo de investidores que para assegurar a manutenção financeira da construção e manutenção da rede, somente cobravam às pessoas que eram abastecidas particularmente, o que gerou uma certa constatação, sendo posteriormente ratificado à medida que o sistema ia evoluindo.

Também no século XIX começaram a entrar em vigor as primeiras legislações para proteção do meio ambiente, estas surgiram com o objetivo de reduzir a poluição na água e no ar.

No século XX, os sistemas de abastecimento de água, modernizaram-se, com o surgimento de novos materiais, como o polietileno de alta densidade (PEAD), e também novas técnicas de tratamento de água. A produção e distribuição de água potável, ficou mais acessível para as entidades fornecedoras de água, e uma consciencialização da importância da água potável na saúde e bem-estar de todos os seres humanos, conduziu a um aumento considerável dos sistemas de abastecimento de água por todo o mundo.

Nos últimos anos tem-se assistido a um aumento da pressão sobre os recursos hídricos a nível mundial, decorrente do aumento populacional e conseqüente crescente consumo de água associado, e como a água doce é limitada (APA, 2019), o ser humano está coagido a lidar com a economia circular para a sua sobrevivência.

De acordo com o site *Sobre Economia Circular (2019)*, a economia circular é um sistema de produção e consumo que promove o uso sustentável dos recursos, em ciclos fechados energizados por fontes renováveis, regenerando ecossistemas e assegurando o progresso social.

De facto, antes do século XX, o homem praticava uma economia circular inconsciente, devido ao facto dos recursos serem limitados e escassos. As práticas da economia circular incluíam áreas bastantes diferenciadas entre si como a moda, a agricultura e a saúde.

Na moda, a economia circular era aplicada através do reuso da roupa, e da sua remediação que atravessava várias gerações. Além disso, a fundição de acessórios antigos de ouro ou prata para dar origem a outros itens, era uma prática comum e sustentável.

Na agricultura, a criação de gado ajudava a fertilizar os cultivos agrícolas, através do uso do estrume animal, o que fazia com que a agricultura e a pecuária tivessem entre si uma relação simbiótica, pois os animais ao consumir certos alimentos como ervas ou raízes, estavam a fazer com que o terreno fosse adequado para uso agrícola.

Assim sendo, como o ser humano está a esgotar todos os recursos naturais disponíveis no planeta, devido ao crescimento da população e à falta de pedagogia, é necessário e urgente voltar à prática da economia circular.

Como tal, um dos recursos essenciais onde a economia circular tem de ser aplicada e desenvolvida é a água, através do reuso de águas residuais tratadas ou pluviais.

Os governos dos países mais desenvolvidos estão a legislar leis que permitam que águas residuais previamente tratadas ou com origem da chuva, sejam usadas em diferentes usos como o agrícola, industrial e paisagístico.

Em Portugal, a presidência de conselho de ministros do XXI governo aprovou, em 2019, o Decreto-Lei n.º 119/2019 que estabelece o regime jurídico de produção de águas para reutilização (ApR), obtida a partir do tratamento de águas residuais, bem como da sua utilização, por forma a promover a sua correta utilização e a evitar efeitos nocivos para a saúde e para o ambiente.

O Decreto-Lei n.º 119/2019 invoca, os potenciais efeitos adversos sobre a saúde e sobre o ambiente como alvo de preocupação, o que leva a uma necessidade premente de definição de normas e regras a aplicar à prática de reutilização de água, bem como o desenvolvimento de metodologias para a respetiva avaliação do risco, sendo que a ausência destes mecanismos poderá levar à perda de oportunidade de desenvolvimento de práticas apropriadas e sustentáveis de reutilização de água.

O último passo para o desenvolvimento de sistemas de distribuição e armazenamento de ApR foi dado pela Comissão Europeia com a aprovação do Regulamento (UE) n.º 2020/741.

Este conjunto de diretrizes, pretendem garantir que a água para reutilização é segura para a irrigação agrícola, assegurando assim um elevado nível de proteção do ambiente e da saúde humana e animal, promovendo a economia circular, e apoiando a adaptação às alterações climáticas.

Neste documento estão estabelecidos os requisitos mínimos para a qualidade e monitorização da água e disposições sobre a gestão dos riscos, para a utilização segura de água para reutilização no contexto da gestão integrada da água.

3 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E O SEU FUNCIONAMENTO

Os sistemas de abastecimento de água têm como meta principal o fornecimento de água, de qualidade inquestionável, ao consumidor individual na quantidade necessária, e com pressão suficiente (Mays, 1999).

Para alcançar tal objetivo, foi necessário projetar e empreender um conjunto de infraestruturas hidráulicas que funcionasse como um todo, sendo que o sistema que temos atualmente, resultou de um conjunto de processos iterativos e soluções otimizadas para os problemas que iam aparecendo.

Na fase inicial de um projeto de um sistema de abastecimento é necessário efetuar um estudo demográfico, este estudo consiste na projeção da população a ser abastecida quando o sistema de abastecimento entrar em funcionamento, e no fim da vida útil do projeto, geralmente 40 anos, após a entrada em funções da infraestrutura.

Segundo Lencastre (2003), as projeções da população podem ser estabelecidas através dos seguintes métodos:

- Métodos que supõem o crescimento populacional segundo uma progressão aritmética ou geométrica, ou segundo uma exponencial;
- Métodos que supõe a evolução segundo uma lei de crescimento retardado (curva logística, por exemplo);
- Método das componentes demográficas;

Analisada a população a servir no período referente à projeção das obras de abastecimento de água, o segundo problema a resolver diz respeito à previsão dos consumos a garantir nesse período.

A previsão de consumos exige que se analisem, as captações e as necessidades de água das indústrias, dos hospitais, das escolas, dos hotéis, etc. (Lencastre, 2003).

Os consumos são dependentes do estado de desenvolvimento do país, da organização dos serviços de distribuição de água, do clima e por fim do combate ao desperdício, e são geralmente, calculados através da seguinte fórmula:

$$U_{mda} = Pop. \times Cap. \quad (1)$$

Onde:

U_{mda} = Consumo médio diário anual, em m^3/dia

$Pop.$ = População, em nº de habitantes;

$Cap.$ = Capitação, em $m^3/(\text{hab.} \times \text{dia})$;

Os efeitos sazonais ou estacionais, são as variações periódicas ocorridas ao longo dos meses do ano, ao longo dos dias da semana, e dentro de cada tipo de dia, existem as variações horárias.

Para representar estas variações do consumo surge a necessidade de caracterizar estas oscilações com um valor matemático designado por fator de ponta.

Embora o estudo acerca das utilizações de água seja essencial na conceção e dimensionamento de novos sistemas, é fundamental também para melhorar a previsão das receitas e consequentemente melhorar o planeamento financeiro, para a otimização do projeto, e por fim avaliar as perdas de água na rede de distribuição (Ferreira Silva, n.d.).

Completadas as projeções acerca do consumo de água, o passo seguinte do projeto é a definição do local de captação da água.

As captações de água podem ser feitas em rios e albufeiras (águas superficiais), e em poços e furos nas águas subterrâneas (Lencastre, 2003).

Geralmente as águas superficiais, estão sujeitas a poluentes por exposição direta, o que confere uma menor qualidade à água, em comparação com as águas subterrâneas que estão protegidas por camadas de solo e rochas, o que faz com que haja uma filtração e purificação da água.

As águas lânticas como albufeiras, ou lagos, funcionam como grandes tanques de sedimentação, o que justifica a pouca turvação e ausência da cor.

Embora este tipo de águas tenham uma contaminação reduzida por bactérias e organismos patogénicos, devido à sua exposição prolongada à radiação UV, deve se ter em conta aquando da elaboração de um projeto de captação, fenómenos como a estratificação que ocorrem devido às variações sazonais das temperaturas, o que tem como consequência um aumento brusco da turvação.

Nas camadas mais profundas dos lagos, onde a água é mais fria e predominam microrganismos anaeróbios, estes processam a degradação da matéria orgânica bêntica, o que leva à formação de compostos solúveis, tais como substâncias azotadas e fósforo. Estes compostos podem ser considerados como nutrientes, e estimulam o crescimento de algas.

Com a inversão térmica que ocorre no Outono, as águas superficiais arrefecem mais rapidamente do as águas da profundidade, o que faz com que, as águas superficiais se tornem mais densas e desçam, e consequentemente haja uma ascensão das águas mais profundas, estas ricas em nutrientes, levando então, a uma mistura das várias camadas de água.

Este processo de estratificação pode então levar a um crescimento excessivo de algas, e daí pode derivar um outro processo gravoso para a qualidade da água, a eutrofização. Este fenómeno ambiental ocorre quando as algas findam, e a sua decomposição leva a um consumo excessivo de oxigénio, o que pode ocasionar o desaparecimento da biodiversidade aquática.

Como o processo de eutrofização, também pode derivar da poluição, sendo esta proveniente das atividades agrícolas que recorrem ao uso excessivo de fertilizantes e adubos, foi necessário a criação e a implementação de um decreto-lei específico, o Decreto-Lei n.º 107/2009, este estabeleceu um regime de proteção das albufeiras de águas públicas de serviço público e das lagoas ou lagos de águas públicas. De acordo com o redigido no Decreto-Lei n.º 107/2009 , o regime de proteção tem como finalidade:

- Proteger e valorizar os recursos hídricos associados às albufeiras, lagoas ou lagos de águas públicas;
- Garantir o bom estado ecológico dos recursos hídricos a preservar;
- Proteger e valorizar o território envolvente das albufeiras, lagoas ou lagos de águas públicas, com o fim de assegurar a qualidade e quantidade dos recursos hídricos, e os ecossistemas aquáticos;
- Controlar as situações de degradação ambiental que põem ou que possam vir a pôr em causa a qualidade dos recursos hídricos, bem como promover a adoção de medidas adequadas a fazer cessar tais situações;

O estudo do regime do transporte sedimentar e de sólidos é uma das peças fundamentais e mais influente do projeto e conceção das captações em rios. Geralmente, estes projetos, possuem uma certa complexidade, devido às diferentes áreas envolvidas, que vão desde a mecânica à geologia.

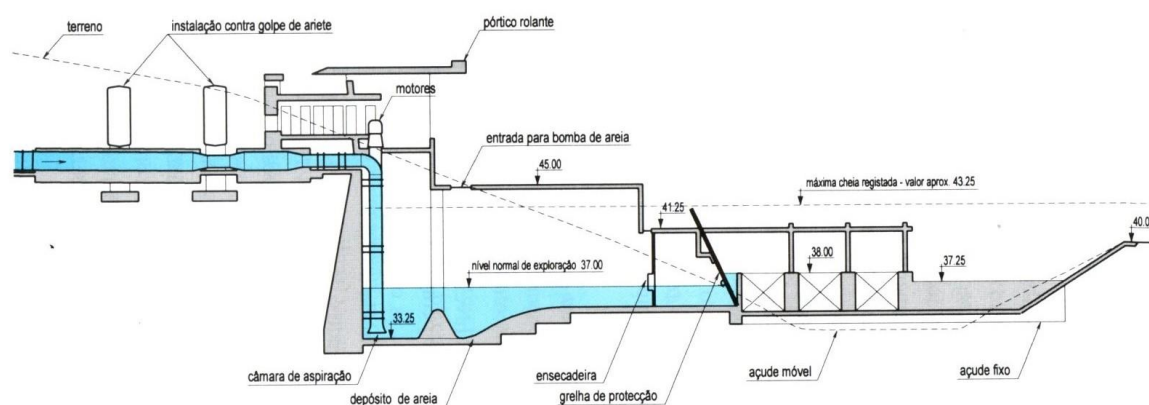


Figura 5: Esquema geral da estação de captação de água do rio Sado em Ermidas do Sado
(Fonte: Lencastre (2003))

Após a captação, a água bruta, tem de ser elevada para a estação de tratamento de água (ETA), com recurso a uma estação elevatória (EE).

Nos sistemas de abastecimento de água, existem vários tipos de estações elevatórias, como o grupo submersível em furo, o grupo submersível em poço, as estações hidropneumáticas e por último a elevação a partir do reservatório. Todas as estações referidas são diferenciadas pelo tipo de grupos de bombas que operam, ou pelas distintas condições em que se encontram instaladas.

As estações elevatórias têm como componente principal, um grupo de bombas, cuja função é introduzir energia no escoamento, e, por conseguinte, contrariar a gravidade.

Na generalidade, o processo de seleção de bombas tende a ser criterioso e ajuizado, devido ao facto, de se tratar de um equipamento bastante dispendioso, e também ao consumo avultado de energia, correspondendo este consumo a uma fatia volumosa, nos custos gerais do sistema de abastecimento em termos energéticos.

Para efetuar o processo de escolha de uma bomba hidráulica, primeiramente é necessário caracterizar a equação da curva da instalação, esta representa a carga energética requerida pelo sistema para o seu funcionamento, em função do caudal.

Usualmente, a curva característica da instalação representa-se pela seguinte fórmula:

$$H_r = H_g + \Delta H \quad (2)$$

Onde

H_r = Altura manométrica, em m;

H_g = Altura geométrica a vencer, em m;

ΔH = Perda de carga continua e localizada, em m;

A fórmula 2 descreve uma função quadrática em que a variável dependente é o caudal pois, a perda de carga é calculada com recurso a esta variável.

Em seguida, define-se a curva característica da bomba, que é uma curva disponibilizada em catálogo pelo fabricante, e que indica a altura monométrica fornecida para cada caudal.

Esta curva é em função da perda de carga interna (localizada), sendo que esta é determinada em ensaios laboratoriais que cada fabricante efetua e vai depender do caudal.

O ponto de funcionamento é o ponto o qual a bomba é capaz de fornecer exatamente a altura manométrica a qual o sistema requiere, e é identificado como o ponto de interseção da curva caraterística da bomba com a curva caraterística da instalação.

Deve-se escolher uma bomba cujo caudal do ponto ótimo se aproxime ao máximo do caudal proposto no projeto, ou seja, o processo de seleção de uma bomba ou de um grupo de bombas acaba por ser um processo iterativo com o objetivo de encontrar uma bomba que satisfaça todas as condições.

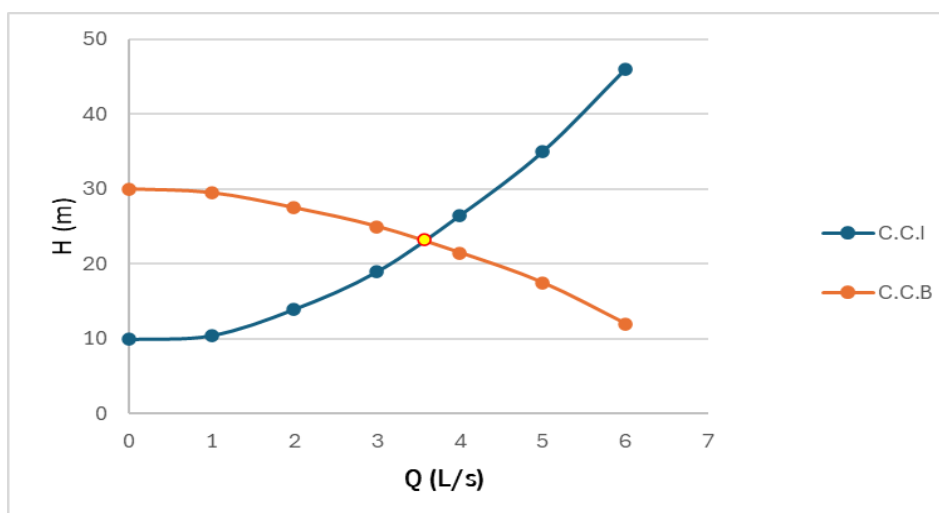


Figura 6: Interseção da curva caraterística da instalação com a curva caraterística da bomba

Após a descoberta do ponto ótimo, deve-se verificar a curva do rendimento hidráulico, pois no fornecimento de energia ao sistema pela bomba, há um processo de conversão de energia, o que conduz a perdas energéticas, ou seja, o escoamento não recebe toda a potência da bomba.

A curva do rendimento hidráulico representa o rendimento que a bomba apresentará para cada caudal apresentado.

Deve-se optar por uma bomba que apresente um rendimento adequado referente ao caudal do ponto ótimo, o que por vezes não é uma tarefa de fácil execução, pois no mercado há uma infinidade de bombas, sendo estas categorizadas, como descrito na tabela 1.

Tabela 1: Classificação de bombas de elevação de água

Critérios de classificação de bombas		
Tipo de impulsor	Nº de impulsores	Direção do eixo
Bombas centrífugas	Bombas monocelulares	Bombas horizontais
Bombas hélico-centrífugas	Bombas multicelulares	Bombas verticais
Bombas de hélice		

De acordo com Nathanson (2019), a bomba centrífuga, consiste num impulsor de rotação rápida que adiciona energia à água e aumenta a pressão no interior do corpo da bomba, sendo que o caudal que atravessa uma bomba centrífuga, depende da pressão contra a qual funciona. Quanto maior for a pressão, menor será o caudal ou a descarga.

As bombas, tal como todos os equipamentos mecânicos, são passíveis de terem problemas, com destaque para a cavitação, que ocorre quando a pressão do fluido a uma temperatura constante, desce abaixo do ponto de pressão de vapor saturado do fluido (*Grundfos*, n.d.), levando à formação de bolhas de vapor. Essas bolhas formam-se em regiões de baixa pressão na bomba e podem implodir quando retornam a regiões de alta pressão, causando danos significativos à bomba, como ruídos anormais, vibrações excessivas, danos às pás da bomba e redução na eficiência da bomba.



Figura 7: Fenómeno de cavitação nas pás de uma bomba
(Fonte: Rodelta)

Após a água bruta ganhar energia na estação elevatória, ela é conduzida até a ETA, por uma ou mais condutas adutoras.

As condutas adutoras, além de transportarem a água de uma EE para uma ETA, também conduzem a água da ETA para um reservatório, e efetuam o traslado de água entre reservatórios.

Existem dois géneros de condutas adutoras: as elevatórias e as gravíticas.

As condutas gravíticas são menos dispendiosas para as entidades gestoras (EG) pois não é necessário introduzir energia produzida por uma EE.

Pelo contrário, nas condutas elevatórias, é essencial efetuar um estudo técnico-económico, por forma a que se possa encontrar a melhor solução com recurso a ferramentas de otimização, tendo em conta que o custo da tubagem adutora vai depender da sua extensão, ficando o investimento mais dispendioso quanto mais longa for a conduta.

Um dos parâmetros mais influentes neste estudo técnico-económico é a escolha do tipo de material e o respetivo diâmetro da conduta adutora.

Os materiais que são, usualmente, empregues na construção de condutas adutoras são o ferro fundido dúctil (FFD), policloreto de vinila (PVC), PEAD, aço, e o betão.

Numa ETA, a água bruta deve ser transformada numa água com qualidade inquestionável de ponto de vista sanitário (a água deve estar isenta de microrganismos patogénicos e não deverá conter substâncias químicas em concentrações tóxicas), estético (a água deve possuir características organoléticas inquestionáveis para o consumidor), e por fim económico (a água deve ter características físico-químicas inócuas para os sistemas de abastecimento, que evitem uma deterioração rápida das condutas).

Esta metamorfose da água inicia-se com a grelhagem, que se trata de um processo operativo físico onde a água bruta passa através de grades ou peneiras instaladas em canais, com o objetivo de removerem materiais sólidos como galhos, folhas ou detritos.

No caso da água a tratar, provir de uma albufeira ou de um lago eutrofizado, o processo seguinte por onde a água deverá passar, é a microtamisação, esta operação física consiste em fazer passar a água através de uma malha de fios metálicos ou de uma membrana porosa. Esta malha vai estar envolta num tubo que efetua um movimento rotativo contínuo, depositando e removendo simultaneamente os sólidos em suspensão e que possuem tendência a colmatar, como as microalgas.

Na circunstância da água possuir um elevado número de partículas coloidais, estas para serem removidas, há que aumentar a sua dimensão através da formação de flocos.

O primeiro processo para formar estes flocos, denomina-se de coagulação, e consiste na destabilização eletroquímica das partículas coloidais, com a intenção de possibilitar o contacto ou colisão destas partículas, através da quebra da estabilidade das partículas.

Para incentivar a destabilização das partículas coloidais, é necessário um coagulante, como os sais de ferro e de alumínio, que seja distribuído de forma homogénea através de uma mistura rápida.

Após esta destabilização, inicia-se o último processo para gerar os flocos, a floculação, esta etapa tem como propósito, o aumento da probabilidade de contactos entre partículas, por meio do movimento browniano das partículas e da turbulência provocada por forças mecânicas exteriores.

Concluídas, as etapas da coagulação e floculação, a água é então, conduzida até aos tanques de sedimentação, onde é mantida por largos períodos de tempo, de forma a remover, por gravidade, as partículas sólidas em suspensão fina e com massa específica superior à da água.

Pelo processo da sedimentação, não é possível remover todas as partículas em suspensão indesejáveis numa água para consumo, portanto recorre-se a um outro processo físico, a filtração.

A filtração consiste em fazer a água atravessar um meio poroso, como a areia ou antracite, com o objetivo de remover as partículas sólidas em suspensão e certos microrganismos.

Esta operação física é muito versátil, devido às inúmeras ofertas do mercado, que variam desde o método de limpeza até a velocidade da operação.

Por fim, a última etapa de uma ETA é a desinfecção, que consiste na eliminação de microrganismos potencialmente nocivos à saúde, através de compostos clorados, ozono, e radiação UV.

Embora a desinfecção com recurso a compostos clorados seja ainda relativamente comum, estes produzem subprodutos como os trihalometanos e os bromatos que podem provocar doenças cancerígenas.

No caso de estarmos perante uma água dura, esta como contém uma alta concentração de cationes metálicos bivalentes como o Ca^{2+} ou o Mg^{2+} , e embora seja benéfica para a saúde humana, é prejudicial para as tubagens e os aparelhos eletrodomésticos devido à deposição dos iões de cálcio.

Para diminuir a dureza da água, é necessário amaciar a água através de processos, como a precipitação química ou a permuta iónica.

Com a finalidade de garantir a conservação dos sistemas de abastecimento de água, efetua-se uma estabilização química. Este processo consiste em ajustar o pH da água para o respetivo valor de equilíbrio, a qual se dá o nome de pH de saturação.

Nas águas agressivas, cuja mineralização é fraca e a quantidade de CO_2 é elevada, recorre-se ao uso substâncias alcalinas como a cal ou a soda, por contacto, adição/injeção, arejamento.

Nas águas incrustantes, adiciona-se um ácido mineral forte ou um ácido carbónico, para diminuir o pH e aumentar a acidez da água.

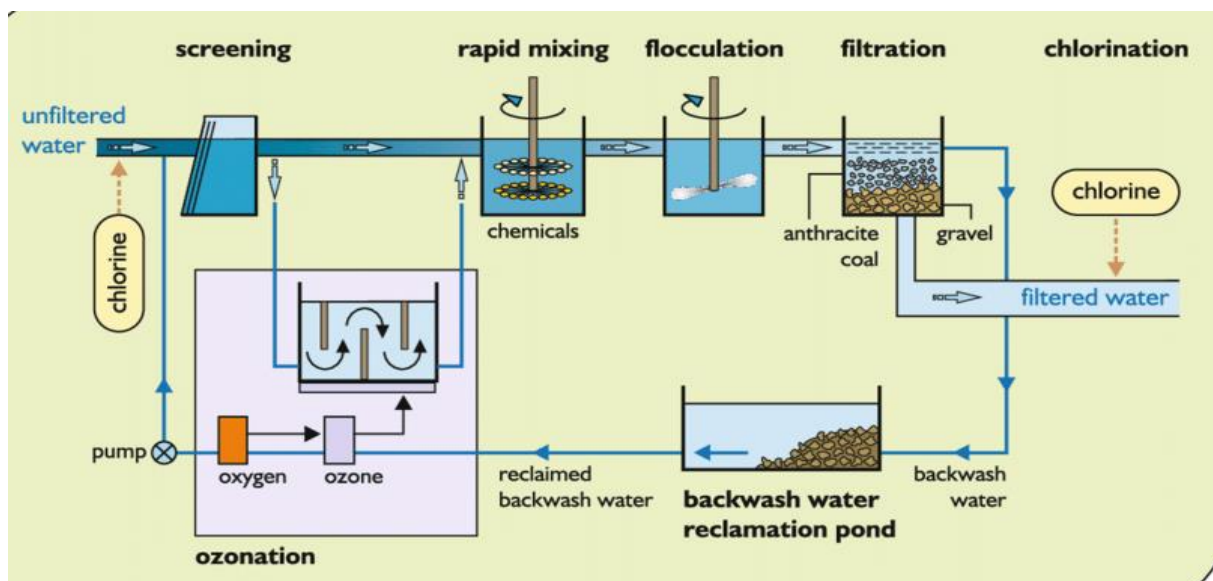


Figura 8: Esquema geral de uma ETA
(Fonte: ResearchGate - Typical Processes in Water Treatment Plants (n.d.))

O esquema de tratamento descrito neste capítulo, ou representado na figura 8, é um esquema geral com as operações mais comuns de tratamento, o que não invalida a necessidade de utilização outras operações físicas ou químicas, mais específicas, de acordo com as características da água a tratar.

Em suma, a esquematização das operações das ETAs vai depender da origem e das características da água captada.

Atualmente, o tratamento da água, tem se deparado com novas adversidades, derivadas da poluição e do uso excessivo de produtos farmacológicos e de pesticidas, e como estas substâncias constituem um risco para a saúde pública em concentrações baixas e tem dimensões microscópicas, é necessário e urgente encontrar soluções de tratamento arrojadas e sustentáveis.

Algumas das soluções já implementadas são a adsorção com carvão ativado, osmose inversa, ultrafiltração e a fotocatalise.

Após a água ser submetida ao seu respectivo tratamento, esta é conduzida por adutoras, onde na chegada destas aos locais de consumo, prevê-se, em geral, um reservatório e, quando a cota deste não é suficiente para garantir a pressão na rede, prevê-se também um reservatório elevado (torre de pressão) ou um reservatório em pressão ao nível do solo.

Aos reservatórios de distribuição são comumente atribuídas uma ou mais das seguintes funções essenciais:

- Compensar as flutuações do consumo, possibilitando assim uniformizar o caudal nas estações elevatórias, nas ETA e nas condutas ou aquedutos de adução;
- Assegurar o fornecimento de água em caso de interrupção da adução;
- Regularizar a pressão na rede de distribuição se estiver situado a cota suficiente;
- Assegurar uma reserva permanente para emergências, designadamente para incêndios;

Para garantirem estas funções, os reservatórios terão de ter uma capacidade conveniente, resultante do diagrama de consumos.

Se, por acréscimo, tiverem de regularizar a pressão na rede de distribuição, haverá que localizá-los estrategicamente em relação à zona a servir, no que diz respeito à proximidade do centro de gravidade da zona e da cota topográfica mais conveniente.

A partir da curva de consumos diários é possível determinar o volume necessário para satisfazer o consumo em face do regime do caudal de adução (Lencastre, 2003).

Posto isto, a água é então, distribuída a partir dos reservatórios ou da E.E, por um conjunto de tubagens extensas, designada por redes de distribuição.

Além das tubagens, a rede de distribuição contém válvulas reguladoras de pressão, ramais de ligação, hidrantes, medidores de caudais, contadores, etc.

Por regra, existem dois tipos de redes, distintas entre si, uma delas são as redes emalhasadas, estas possuem o benefício de serem redundantes e confiáveis, pois se uma das secções falharem, o serviço de abastecimento é efetuado equitativamente.

As redes emalhasadas tem um custo inicial de construção mais elevado e no caso, de haver uma falha, esta não é fácil de ser detetada. Estas desvantagens das redes emalhasadas não se verificam nas redes ramificadas, que por natureza, são mais vulneráveis às interrupções gerais no abastecimento devido a fugas ou outro tipo de adversidades.

Na verificação dos parâmetros que tem de ser cumpridos e são exigidos pelo Decreto-Lei n.º 23/95 usa-se um modelo de simulação, que permite simular as condições de escoamento para uma grande variedade de condições/cenários.

Em suma, os sistemas de ApR têm a mesma base de funcionamento dos sistemas de abastecimento de água, diferenciando-se entre si, na origem da água, e a sua implementação visa fechar o círculo urbano da água, pondo em prática a economia circular.



Figura 9: Ciclo urbano da água
(Fonte: EPAL)

4 SISTEMAS DE ÁGUA PARA REUTILIZAÇÃO

4.1 A urgência do investimento na reutilização da água

A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, que foi adotada por todos os Estados-Membros das Nações Unidas em 2015, e entrou oficialmente em vigor em 2016, define as prioridades e aspirações do desenvolvimento sustentável global para 2030 e procura mobilizar esforços globais à volta de um conjunto de objetivos e metas comuns.

A agenda é constituída por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que representam um apelo urgente à ação de todos os países desenvolvidos e em desenvolvimento para uma parceria global. Os ODS reconhecem que a erradicação da pobreza e outras privações devem ser acompanhadas de estratégias que melhorem a saúde e a educação, reduzam a desigualdade e estimulem o crescimento económico, ao mesmo tempo que combatem as alterações climáticas e preservam os ecossistemas. A plena implementação da Agenda 2030 das Nações Unidas é crucial para fortalecer a resiliência e preparar o mundo para choques futuros à medida que embarcamos nas duas transições – verde e digital (*Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*, 2015).

Infelizmente, tal como referido pelo secretário-geral da ONU, António Guterres, no *The sustainable development goals report* (UN DESA, 2022), as aspirações estabelecidas na Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável estão em perigo, devido à guerra na Ucrânia, à pandemia da covid-19, e por último ao conflito israelo-palestino.

Estas três crises causaram, e ainda causam, sofrimento humano, impactos ambientais significativos e atrasos consideráveis na concretização das metas estabelecidas para o ano de 2030.

“Os 17 ODS são a nossa visão comum para a Humanidade e um contrato social entre os líderes mundiais e os povos”, disse o então secretário-geral da ONU, Ban Ki-moon. “São uma lista das coisas a fazer em nome dos povos e do planeta, e um plano para o sucesso”, acrescentou.

Os ODS são muito distintos entre si, sendo que alguns, inclusive, não se corroboram, mas quando interligados são a solução ideal para um mundo mais justo, digno e verde.



Figura 10: Os 17 ODS
(Fonte: ONU (2015))

Esta dissertação de mestrado, é elaborada na tentativa de ser um contributo como tantos outros estudos, no auxílio à sociedade, em cumprir as metas estabelecidas nos objetivos 6 e 13.

O objetivo 6 tem como finalidade integral, garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos, até 2030.

Para auxiliar a execução do objetivo geral, foram estabelecidas metas específicas, como:

- Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando os despejos e minimizando a libertação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo para metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e a reutilização ao nível global.

- Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência no uso da água em todos os setores, assegurar extrações sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas afetadas pela escassez de água.

O fator mais determinante, para o sucesso do cumprimento do ODS 6, é, sem margem de dúvida, a quantidade de água disponível no planeta.

Embora a água cubra mais de 70% da superfície da Terra, menos de 1% é acessível e de qualidade suficiente para ser tratada e utilizada para consumo humano (WJW Foundation, 2018).

Este quase 1% da hidrosfera, que é cabível de ser consumida pelo ser humano, é representado pelo que se designa por água doce, esta pode ser superficial, subterrânea e atmosférica.

Como se pode verificar, a água potável é um recurso escasso, e estima-se que cerca de 733 milhões de pessoas vivam em países com níveis altos e críticos de stress hídrico, de com os dados do (UN DESA, 2022).

Segundo a WJW Foundation (2018), o stress hídrico ocorre quando a procura de água excede a quantidade disponível durante um determinado período ou quando a má qualidade limita a sua utilização. O stress hídrico provoca a deterioração dos recursos de água doce em termos de quantidade (sobre-exploração dos aquíferos, rios secos, etc.) e de qualidade (eutrofização, poluição por matéria orgânica, intrusão salina, etc.).

Também pode se definir o stress hídrico, em termos matemáticos, ocorrendo este quando a relação entre a água doce retirada e os recursos hídricos renováveis totais ultrapassa o limite de 25 % (UN DESA, 2022).

O stress hídrico é causado, sobretudo, pelo aumento da população, uma vez que para satisfazer as necessidades humanas, os recursos limitados de água e terra estão a ser cada vez mais utilizados, por exemplo, para aumentar a produção alimentar (Bauer & Wagner, 2022).

A este respeito, presume-se que a procura global de água aumentará cerca de 1% por ano até 2050 (Jodar-Abellan et al., 2019).

Por outro lado, as alterações climáticas agravam ainda mais a situação uma vez que os períodos de seca estão a aumentar (Bauer & Wagner, 2022).

Em regiões como o Norte de África e o Oeste da Ásia atingiu-se um nível crítico de stress hídrico de 84,1 % em 2019, um aumento de 13 % desde 2015, de acordo com o reportado pelo *The sustainable development goals report* (UN DESA, 2022).

Nestas zonas geográficas, principalmente na bacia hidrográfica do rio Indo, os seres humanos consomem mais de 60% da água do rio, e cerca de 270 milhões de pessoas dependem do Indo para sobreviverem, o que confere ao rio Indo uma importância colossal para os países que dele necessitam.

De acordo com Albinia (2023), se o rio Indo continuar a ser sobreexplorado, devido às exigências do regadio, da indústria e da vida quotidiana, e a uma gestão arruinadora e ineficiente por parte das elites que governam a região, adversidades como cheias, glaciares em fusão e o respetivo deslizamento repentino, e a poluição dos corpos d' água pelos adubos vão ser cada vez mais habituais.

Precisamente por causa da ingestão da água poluída por parte da população, há um registo de crescimento de doenças renais na região do Indo.

Com o ritmo atual de consumo, as temperaturas a subirem, e os glaciares a continuarem a derreter, o Indo atingirá o “pico da água” em 2050, o que se traduz numa diminuição do caudal a partir daí.

Devido á dependência vital do Indo para a economia de países como a Índia, Paquistão e China, se o caudal começar a contrair, existe uma possibilidade séria de acontecer um conflito armado, pois, o rio Indo e cinco dos seus afluentes são partilhados pela Índia e pelo Paquistão, vizinhos e inimigos desde 1947, enquanto a China controla as nascentes (Albinia, 2023).

Mas não é só, em países localizados em regiões áridas, que se lida com a problemática da escassez da água, também em países como a Alemanha, que não são bem conhecidos pela escassez de água, também estão a lidar cada vez mais com este desafio. Nomeadamente, em 2018 e 2019, registaram-se conflitos acentuados sobre a utilização da água como recurso em muitas regiões da Alemanha.

Aqui, surgiram conflitos sobre a utilização da água como recurso, causados pelo baixo caudal do rio Reno, o que levou a uma redução da produção na conhecida empresa química, e que atua em escala global, a BASF (Bauer & Wagner, 2022).

Conclui-se, então, que os objetivos fixados na Agenda 2030 como o, 2 “Erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição, e promover a agricultura sustentável”, o 3 “Garantir o acesso à saúde de qualidade e promover o bem-estar para todos, em todas as idades”, o 8 “Promover o crescimento económico inclusivo e sustentável, o emprego pleno e produtivo e o trabalho digno para todos” e por fim o 16 “Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas a todos os níveis” são extremamente vulneráveis e dependentes do ODS6.

Assim, constata-se que o ODS6 é um dos elos que não pode ser quebrado na Agenda 2030, pois se este objetivo não se concretizar, os outros restantes não serão atingidos.

Para a concretização do ODS6, é necessário, a redução da extração e consumo de água doce, pois se continuarmos a este ritmo de consumo, a água potável não poderá alcançar todos os 8 bilhões de habitantes do planeta Terra, nas quantidades necessitadas para uma higiene básica e uma vida digna. A solução parcial para esta problemática, pode se inspirar no funcionamento do ciclo hidrológico da água que nos mostra que toda a água já é reciclada, pois ela recircula por todo o nosso planeta, alternando o seu estado físico e localização, (WJW Foundation, 2018) o que é corroborado pela Lei da conservação da massa ou Lei de Lavoisier “Na natureza, a matéria não é criada, nem destruída, apenas sofre transformações”.

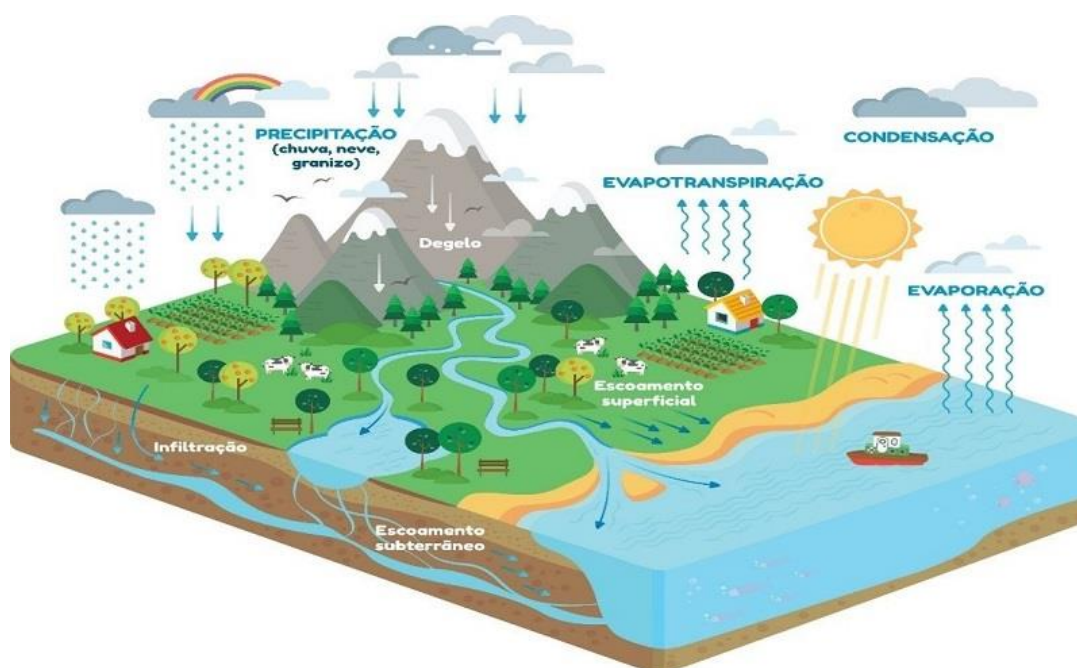


Figura 11: Ciclo hidrológico da água
(Fonte: EPAL)

Portanto para garantir um abastecimento seguro de água é fundamental aplicar e estudar os conceitos de reutilização da água, embora as oportunidades limitadas de planeamento espacial e a falta de regulamentação para fornecer águas residuais tratadas de acordo com os princípios *fit-for-purpose* e *fit-for-all* estão frequentemente a impedir a sua aplicação.

Alguns países, como os EUA ou Singapura, estão há décadas na vanguarda da aplicação de conceitos de reutilização da água e no tratamento de águas residuais para reutilização potável e não potável (Bauer & Wagner, 2022) e ditosamente, este conceito de reutilização da água, tem tido sucesso e prosperidade nestes países.

Portanto, investir na reutilização da água é uma necessidade urgente para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos, enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas, e assegurar a disponibilidade de água para as futuras gerações.

Além de oferecer benefícios ambientais e económicos, a reutilização da água é uma estratégia vital para alcançar a segurança hídrica global, só assim será possível um desenvolvimento territorial sustentável que enfrente o desafio do crescimento demográfico e assegure as necessidades humanas.

4.2 As diferentes formas de reutilização e poupança de água

De acordo com Monte & Albuquerque (2010), a reutilização da água é definida como a utilização de água residual tratada (ART) para uma ou várias aplicações com benefício económico ou ambiental, ou seja esta reutilização pode ser vista como uma forma de poupança da água, pois ao reutilizarmos água residual tratada, estamos a contribuir para a redução do volume extraído na captação de água bruta.

O fornecimento de água residual tratada pode ser efetuado de numerosas maneiras devido á variabilidade das características químicas, biológicas, e físicas das águas residuais, no tempo e no espaço.

Essa variabilidade ocorre porque diferentes atividades humanas e industriais geram diferentes tipos de águas residuais. Como estas atividades variam ao longo do dia, das estações do ano e conforme a localização geográfica, as características das águas residuais também flutuam de acordo com todas estas variáveis.

Assim sendo, os sistemas de águas para reutilização (ApR), possuem diferentes categorias, que se diferenciam entre si, quanto à origem da água residual, ao tipo de gerência, ao uso final, ao tipo de produtor, ao tipo de regulamentação em vigor e, por fim, ao tipo de tratamento adaptado.

Por agora, a água residual tratada tem sido usada maioritariamente para fins não potáveis, ou seja, é utilizada como água não potável. De acordo com a WJW Foundation (2018) essa é a água que não cumpre as normas para consumo humano, mas é adequada para outros fins, dependendo da qualidade da água de uma dada fonte e da utilização final a que se destina.

Mas existem casos de sucesso, que vão ser devidamente explorados nesta dissertação de mestrado, onde a água residual tratada, é utilizada indiretamente em usos potáveis como a higiene pessoal ou a cozedura dos alimentos.

Como, 95% da água utilizada em edifícios comerciais e 50% da água utilizada em edifícios residenciais multifamiliares destina-se a necessidades de água não potável, (WJW Foundation, 2018) é natural que haja um maior entusiasmo e investimento em projetos de reutilização de água residual para usos não potáveis do que para os usos potáveis indiretos, devido ao receio da rejeição desses projetos por parte do público e á apreensão por parte dos investidores.

Os diferentes usos de água num edifício comercial

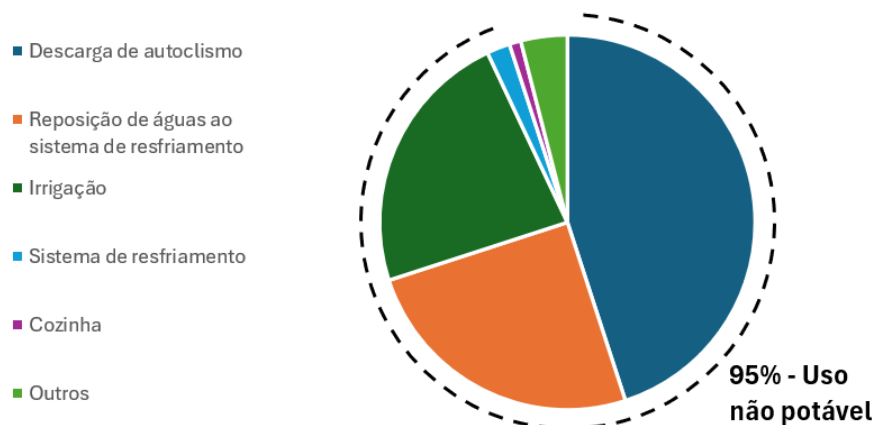


Figura 12: Os diferentes usos de água num edifício comercial
(Fonte: Adaptado da WJW Foundation (2018))

Os diferentes usos de água num edifício residencial multifamiliar

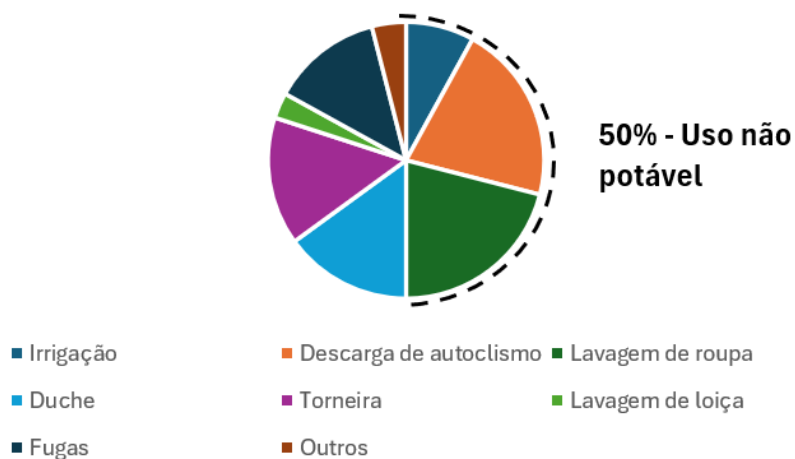


Figura 13: Os diferentes usos da água num edifício residencial multifamiliar
(Fonte: Adaptado da WJW Foundation (2018))

Todavia, o desenvolvimento de novas tecnologias de tratamento de água residual, tem tornado cada vez mais, possível elevar a qualidade da água a um nível adequado para consumo, e de forma mais acessível economicamente para as EG. Isso se deve ao foco no desenvolvimento em tecnologias que não utilizam tantos recursos energéticos e ofereçam uma maior sustentabilidade ambiental.

Por isso, existe uma maior probabilidade de, num futuro próximo, a água residual tratada ser utilizada de forma indireta em Portugal para usos potáveis. Ou seja, ao construir um sistema de ApR, este deverá ter de possuir a capacidade de satisfazer as necessidades de usos não potáveis e, no futuro, também os usos potáveis, o que pode, numa fase inicial, tornar o sistema sobredimensionado.

O sistema de distribuição de ApR deve ser dimensionado de modo a disponibilizar as pretendidas condições de caudal e de pressão aos diversos utilizadores, sendo importante avaliar as solicitações de ponta, bem como a possível necessidade de capacidade de armazenamento (Monte & Albuquerque, 2010).

Embora o sistema sobredimensionado possa apresentar certas desvantagens, como o custo inicial de construção avultado e a facilidade de criação de biofilmes nas condutas devido a um possível reduzido caudal, o investimento na construção de um sistema comum de ApR para usos potáveis e não potáveis poderá vir a ser compensativo, pois torna o sistema mais resiliente e menos vulnerável a possíveis crises de escassez de água, que vão ser cada vez mais prováveis de acontecer num futuro próximo.

Os sistemas de ApR, podem ser implantados a partir dos sistemas públicos de drenagem e tratamento de águas residuais ou a partir de um sistema particular e podem produzir ApR para um único uso ou para distintos usos com diferentes requisitos qualitativo (APA, 2019).

Tal como referido no presente capítulo, os sistemas de ApR são segmentados em sistemas descentralizados e sistemas centralizados.

4.2.1 Sistemas descentralizados de águas para reutilização (ApR)

Um sistema descentralizado é gerido por um particular ou por uma entidade coletiva e engloba um sistema de produção de água com um nível de qualidade adequado ao fim a que se destina.

As ApR produzidas em sistemas descentralizados só podem ser utilizadas pelo próprio gestor do sistema de produção de água, não podendo, em caso algum, ser cedidas a terceiros.

O particular ou entidade coletiva que gere as ApR assume a total responsabilidade na gestão do próprio sistema de produção, transporte e aplicação das mesmas nos usos pretendidos, e a sua atividade só deverá ser permitida mediante uma licença concedida pelas autoridades competentes.

Este tipo de sistemas de ApR, na sua maioria, optam pela abordagem *fit-for-purpose*, esta consiste no desenvolvimento de um projeto de reutilização adequado a cada situação, para o qual é definido um normativo de qualidade específico, tendo em conta o fim a que as ApR se destinam e as necessidades de proteção da saúde pública e do ambiente (APA, 2019).

Nos sistemas descentralizados, a reutilização pode ser processada por duas formas, a primeira que se designa por reutilização local, onde a ApR, é produzida, tratada, armazenada e usada no mesmo sítio, e a segunda onde, a ApR é produzida e tratada num determinado local, e o armazenamento e local de uso situa-se num local diferente, sendo o transporte geralmente efetuado por camiões-cisterna.

Na generalidade, a reutilização local é exclusiva dos sistemas descentralizados, exceto quando se trata de uma ETAR, esta poderá utilizar para várias operações a água produzida por si, e igualmente fornecer aos utilizadores, ao contrário de um edifício que possua um sistema descentralizado, pois este beneficia da utilização da água produzida, mas não pode ceder a possíveis utilizadores interessados.

Ao considerar uma solução no local, é importante reconhecer que as poupanças do projeto são muitas vezes superiores ao impacto da perda de receitas relacionadas com os caudais desviados.

Para serem reutilizadas com sucesso, as águas residuais devem ser tratadas de modo a apresentar características de qualidade que satisfaçam à utilização pretendida, minimizando eventuais impactes ambientais adversos e não contribuindo para riscos de saúde das pessoas expostas (trabalhadores dos sistemas de reutilização, utilizadores da água reutilizada, público em geral) (WJW Foundation, 2018).

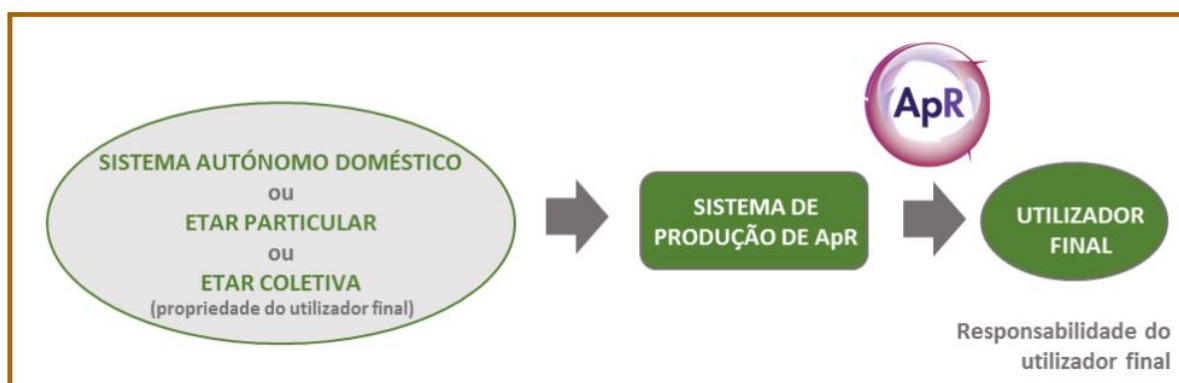


Figura 14: Gestão de sistemas descentralizados e respetiva responsabilidade
(Fonte: APA (2019))

4.2.2 Sistemas centralizados de águas para reutilização (ApR)

Um sistema centralizado de ApR utiliza águas residuais tratadas oriundas de um sistema de águas residuais urbanas, o qual engloba o sistema de drenagem e tratamento de águas residuais de origem urbana provenientes de uma dada aglomeração.

Esse tipo de sistema utiliza a ApR produzida para fins internos e/ou conceder a um ou mais utilizadores, com um acordo pré-estabelecido que define o nível de qualidade exigido da água entregue. A responsabilidade por garantir essa qualidade no ponto de entrega é inteiramente do gestor do sistema centralizado. A partir do ponto de entrega, o utilizador final assume a responsabilidade pela manutenção da qualidade da água até ao respetivo ponto de utilização (APA, 2019).

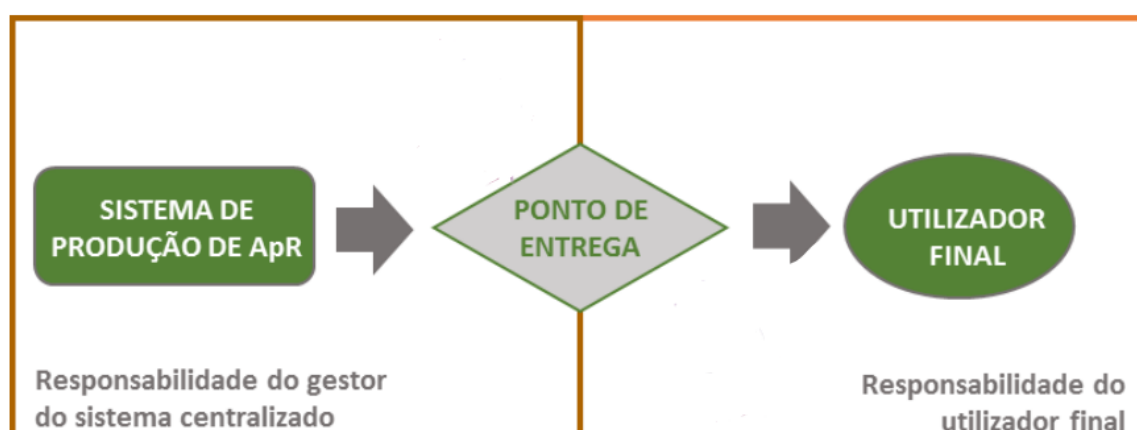


Figura 15: Esquematização das partições das responsabilidades de um sistema centralizado
(Fonte: Adaptado da APA (2019))

Na generalidade, quem gere os sistemas de produção de ApR, é a EG que gere a ETAR urbana, ou seja esta EG, é quem vai possuir a responsabilidade de gerir o sistema centralizado até ao ponto de entrega, também designado por ponto de conformidade, de acordo com o Regulamento (UE) n.º 2020/471.

A integração das barreiras, que se pode considerar como qualquer meio físico ou, químico ou biológico que reduza ou previna o risco de ocorrência de danos para a saúde ou para o ambiente, é fundamental no funcionamento dos sistemas centralizados e descentralizados.

O transporte do local de produção de ApR até ao ponto de entrega, é efetuado de duas maneiras distintas: por camião-cisterna, ou por um sistema de abastecimento.

No caso do transporte da ApR, ser efetuado por meio de um sistema de abastecimento, este deve ser totalmente separado e independente dos sistemas de abastecimento das águas tradicionais, e deve ser facilmente identificado pela cor púrpura adotada.

Esta é a cor usada, em alguns países como os EUA, para a tubagem de transporte de águas residuais tratadas para reutilização, e por uma questão de uniformização tendente à padronização, é recomendável que seja também esta a cor adotada em Portugal para a tubagem dos sistemas de distribuição de água reutilizável (Monte & Albuquerque, 2010).

Tal como nos sistemas tradicionais de abastecimento de água, cujo ponto de entrega, se situa no final do ramal de ligação, sendo que a partir deste ponto, a manutenção passa a ser da responsabilidade do utilizador individual ou coletivo, o mesmo se sucede com os sistemas de distribuição e armazenamento de águas para reutilização (SDAApR).

Segundo Monte & Albuquerque (2010), um SDAApR compreende sempre uma ou várias estações de tratamento de águas residuais e rede(s) de distribuição do efluente tratado ao(s) utilizador(es). Dependendo do tipo de utilização da água e das condições físicas locais, um sistema de reutilização de águas residuais tratadas pode incluir (ou não):

- Reservatório de regularização do efluente a submeter a tratamento complementar para ser reutilizado;
- Instalações de tratamento complementar à(s) ETAR existente(s);
- Reservatórios de armazenamento;
- Rede de tubagens de distribuição e aplicação da água residual tratada;
- Estações elevatórias;
- Medidores de caudal abastecido;

De acordo com a APA (2019), num sistema centralizado, o ponto de entrega deve ser definido em função das especificidades qualitativas requeridas, podendo ser adotados diversos esquemas de operação, nomeadamente:

- Sistema único, em que há apenas produção de água com um determinado nível de qualidade adequado a um determinado uso. Neste caso há apenas um ponto de entrega;
- Sistema em paralelo, em que um sistema de produção contempla duas ou mais linhas de tratamento com produção de água com distintos níveis de qualidade adequados a diferentes usos, podendo haver um ou mais pontos de entrega, dependendo se todas linhas de tratamento estão incluídas no sistema de produção de ApR ou se constituem linhas adicionais geridas pelos utilizadores finais;
- Sistema em série, em que um sistema de produção contempla uma linha de tratamento para produção de água com qualidade compatível a determinado uso e a partir desta possa existir outra linha de tratamento subsequente para produção de água com outro nível de qualidade. Nestes casos a primeira linha de tratamento produz uma água com qualidade inferior às subsequentes;

Estas categorizações dos esquemas de operação mencionadas para os sistemas centralizados, ajustam-se às situações, em que os sistemas de ApR servem poucos utilizadores, como fábricas ou explorações agrícolas, e como estes setores possuem um poder económico relevante na região onde estão instalados, poderá existir um acordo financeiro, jurídico e comercial entre a EG e os utilizadores, no sentido da EG fornecer uma água, a uma determinada tarifa, com determinadas características que possam beneficiar estes setores económicos.

No caso do utilizador a servir, ser a população no geral, para alcançar a satisfação dos usos não potáveis, a abordagem do *fit-for-purpose*, não é de todo a mais adequada.

Assim sendo, a EG deve optar por um esquema de tratamento geral (*fit-for-all*) que permite o uso de ApR em segurança e em condições satisfatórias, nos mais variados usos.

4.3 Os diferentes usos e aplicações das águas para reutilização (ApR)

A utilização das águas para reutilização, pode ser bastante diversificada, devido aos inúmeros tratamentos de águas residuais e a composição química, física e biológica destas águas.

Tal como referido, no capítulo anterior, a abordagem *fit-for-purpose*, é implementada, quando a ApR é contratualizada para ser usada em um ou mais usos específicos.

Quando se trata de um uso ou mais usos, que requerem uma certa dinâmica e utilização mais abrangente, opta-se por um esquema de tratamento que faça com que a água possa ser utilizada com uma qualidade igualitária nos diferentes usos a que se propõe (*fit-for-all*).

Posto isto, neste capítulo aborda-se e expõe-se os diferentes aspetos e propriedades de cada uso das ApR.

4.3.1 Uso agrícola

A rega para a agricultura, é a aplicação que utiliza maior volume de águas para reutilização, tanto nos países de agricultura mais desenvolvida como nos países em desenvolvimento representado cerca de 70% do consumo de água a nível mundial.

A rega é a aplicação de água ao biosistema solo-planta com o objetivo de suprir as necessidades hídricas das plantas durante o seu ciclo vegetativo (Monte & Albuquerque, 2010).

Devido à composição química da água residual bruta, que contém substâncias inorgânicas como o fósforo e o azoto, a irrigação com águas residuais representa um benefício, para a exploração agrícola. Essas substâncias são essenciais para o desenvolvimento das plantas, e inclusive, a maioria dos fertilizantes disponíveis no mercado, contém essas duas substâncias na sua composição.

Um dos aspetos que não favorece a utilização de ApR, nas práticas agrícolas, poderá ser o excesso de salinidade contido nas ApR, pois este excedente poderá dificultar o processo de absorção de água na raiz da planta e ter como consequência a destruição de toda uma cultura agrícola.

Assim, no caso de estarmos perante uma água com maior nível de salinidade, é importante perceber de que forma essa salinidade poderá afetar o solo e quais as alterações consequentes no meio envolvente e na própria plantação (Amaral, 2019).

A contaminação das culturas destinadas a consumo direto pode ser controlada, em larga medida, através de métodos de rega que minimizem o contacto do efluente de rega com a parte consumível das culturas, podendo incrementar-se a mitigação de risco mediante um intervalo de tempo propiciador do decaimento de microrganismos.

No planeamento de um projeto de reutilização de águas residuais para rega na agricultura importa não só conhecer as dotações de rega das culturas previstas, mas também a calendarização das regas pois, esta permitirá estimar a distribuição da procura de águas residuais tratadas para rega ao longo do tempo e assim avaliar o interesse do eventual armazenamento (APA, 2019).

Na circunstância, de um sistema centralizado ou descentralizado, ser especificamente concebido para fornecer água residual tratada para uma exploração agrícola, deverá ser imperativo a construção de um reservatório próximo ao terreno da exploração agrícola, pois a necessidade de água para rega não é constante ao longo do ano, apresentando mesmo maior procura em tempo seco, quando a precipitação atmosférica é mais reduzida ou mesmo nula e a evaporação é mais elevada. Por outro lado, a produção de águas residuais tratadas numa ETAR é relativamente constante, não obstante a sua variação de caudal.

No caso de estarmos, perante um SDAApR que abastece a exploração agrícola e também a população no geral, não deverá haver necessidade de se construir um reservatório nas redondezas da exploração, pois o SDAApR, irá operar, como os sistemas de abastecimento de água tradicionais.

4.3.2 Uso paisagístico

A ApR, também podem e devem ser empregues na denominada rega paisagística, esta consiste na rega de espaços verdes ornamentais, como: parques e jardins, separadores de autoestradas, relvados de campos desportivos, nomeadamente campo de golfe.

Em termos de volume de água, a rega paisagística constitui a segunda maior aplicação de reutilização de águas residuais tratadas em países desenvolvidos, sendo que em Portugal assiste-se a um interesse crescente pela reutilização de águas residuais tratadas na rega de campos de golfe, principalmente nas regiões do Algarve e do Oeste.

A prática do golfe exerce uma ampla influência no turismo nacional, e visto que a substituição total da rega dos campos de golfe por ApR representaria uma poupança potencial de 188.000 m³/ano por campo de golfe, ou seja, 8.000.000 m³/ano (Ministério Do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2001), o desenvolvimento de sistemas de ApR representaria uma poupança significativa nas reservas hídricas do país.

Os fatores que condicionam a reutilização para rega paisagística são os mesmos referidos para a rega agrícola, isto é, características químicas favoráveis ao desenvolvimento das plantas regadas e características microbiológicas compatíveis com a adequada proteção da saúde pública, embora geralmente este último aspeto seja considerado primordial, dada a elevada probabilidade de contacto humano com os relvados, nomeadamente no caso dos campos de golfe e também pelo facto de não estar em causa o valor da produção agrícola (Monte & Albuquerque, 2010).

O uso destas águas deve ser feito por meio de efluentes de elevada qualidade microbiológicas e de preferência conjugada com a técnica de rega gota a gota, na qual a água se infiltra diretamente no solo contactando apenas com a raiz da planta, atenuando assim a acumulação de sais no solo. No caso de método da rega empregue ser por aspersão, os períodos de rega devem ser noturnos de modo a minimizar os riscos de saúde pública associados ao transporte de microrganismos patogénicos das áreas jardinadas (Ministério Do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2001).

O fornecimento de ApR para o uso paisagístico é realizado de forma semelhante ao uso agrícola, alterando-se apenas o esquema de tratamento quando o sistema é concebido especificamente para o uso paisagístico.

4.3.3 Uso industrial

Nas indústrias, a água desempenha um papel fulcral, sendo subdivida em: águas de arrefecimento, águas para caldeiras de aquecimento, águas de processo, e águas de lavagem.

A utilização de águas para reutilização, na indústria tem se expandido progressivamente nas últimas duas décadas, principalmente devido aos seus benefícios ambientais e económicos. Esta prática é especialmente vantajosa para indústrias que consomem elevados volumes de água, além de elevar a reputação da indústria perante o mercado.

Na indústria, a água é frequentemente reutilizada para a mesma utilização, sem necessidade de ser submetida a qualquer tipo de tratamento, quando muito uma adição de um certo volume da mesma água, para repor perdas por evaporação.

Os padrões de qualidade da água para reutilização industrial são muito específicos do tipo de indústria. Algumas aplicações requerem água de elevada qualidade, como a produção de vapor, outras são compatíveis com águas de menor qualidade, como a construção pesada.

Os requisitos inerentes à proteção da saúde pública também podem constituir um objetivo de qualidade, nomeadamente nos casos em que poderá ocorrer exposição humana às águas residuais ou a aerossóis das mesmas.

Na água de arrefecimento são importantes as características que podem dar origem a fenómenos de corrosão ou de incrustação (nomeadamente o teor de sólidos dissolvidos totais, os cloretos, o oxigénio dissolvido), ou à formação de filmes biológicos nas condutas (como os resíduos de matéria orgânica) (Monte & Albuquerque, 2010).

A utilização de ApR em contexto industrial é apenas admissível em indústrias não alimentares ou outras em que os requisitos do uso de água sejam compatíveis com a qualidade requerida para o consumo humano.

Em suma, para satisfazer as necessidades hídricas dos processos fabris, é comum as indústrias optarem por um sistema de reutilização local, devido ao volume de água considerável que debita para os sistemas de drenagem, embora também se possa optar por um sistema centralizado de ApR que esteja projetado para servir a população geral.

4.3.4 Uso para recarga de aquíferos

A recarga de aquíferos com recurso às ApR é empregue para alcançar as seguintes metas:

- Impedir ou atenuar o rebaixamento do nível freático em zonas de escassez de águas subterrâneas ou sujeitas a elevada pressão de extração;
- Proteção de aquíferos nas zonas costeiras contra a intrusão salina;
- Armazenamento de água no solo – água da precipitação atmosférica e/ou águas residuais para reutilização – para utilização futura;

Uma vez que, as águas subterrâneas constituem uma parcela bastante significativa das captações para abastecimento público, é importante garantir que a recarga dos aquíferos com ApR seja controlada e monitorizada rigorosamente, com o objetivo de manter os padrões de qualidade da água.

Independentemente do método utilizado para a recarga, a sua localização deve estar afastada dos pontos de extração de água, não só para garantir uma adequada mistura do efluente tratado no aquífero e uma regularização da qualidade da água, como para minimizar a eventual rejeição da utilização da água pelo público.

Quando o aquífero recarregado com ApR, é utilizado para extração de água subterrânea para a produção de água potável, configura-se um caso de reutilização indireta para fins potáveis, contexto em que a salvaguarda da saúde pública assume importância primordial (Monte & Albuquerque, 2010).

4.3.5 Usos ambientais e recreativos

As utilizações recreativas e ambientais consistem na reutilização de águas residuais tratadas em massas de água naturais e/ou artificiais, com vista à prática de atividades recreativas como a pesca, desportos náuticos e à preservação/desenvolvimento de habitats (Fernandes Catarino, 2018).

A reutilização da água para usos recreativos pode ser classificada como de uso recreativo restrito ou de uso recreativo não restrito. O primeiro uso pressupõe a utilização de ApR em um domínio em que, apesar de ser possível o contacto com o homem, o contacto tem de ser restringido ao máximo possível, embora sejam observadas boas práticas de aplicação. Enquanto o uso recreativo não restrito refere-se à utilização de ApR em domínios em que é provável e não controlado o seu contacto com o homem.

A qualidade e o risco das águas a reutilizar para usos recreativos e ambientais depende essencialmente da massa de água onde são lançadas e do tipo de contacto humano com essas águas. A turvação, o teor de SST e coliformes fecais são parâmetros de qualidade relevantes neste tipo de reutilização.

Dado o elevado risco para a saúde pública, o nível de qualidade a exigir ao efluente deve ser máximo.

Tem sido observado que, uma consequência da descarga nos meios recetores aquáticos de efluentes de melhor qualidade, consiste na recuperação dos ecossistemas aquáticos nas proximidades da descarga (Monte & Albuquerque, 2010).

4.3.6 Usos urbanos não potáveis

Os usos urbanos não potáveis englobam todos os diferentes usos, em ambiente urbano, que podem e devem empregar água de qualidade inferior à frequentemente utilizada, tais como: descarga de autoclismos, lavagem de ruas, lavagem de contentores de resíduos urbanos, lavagem de veículos, varrimento de coletores, combate a incêndios e sistemas de ar condicionado.

Para satisfazer estes usos, é quase imperativa a presença de um SDAApR e uma rede predial dupla, o que praticamente duplica o investimento, visto que a rede de água potável é sempre necessária, embora possa ter troços de menor diâmetro.

Embora o custo do sistema de abastecimento duplo, o risco para a saúde pública e a aceitação pública possam constituir fatores condicionantes da reutilização da água residual tratada, o desenvolvimento e evolução das tecnologias de tratamento de águas residuais, estão a ter resultados bastantes positivos e promissores, visto que, cada vez mais, estas tecnologias conferem maior qualidade à água com eficiência e a um custo suportável.

Para o sucesso do SDAApR destinado a uso urbanos não potáveis, é importante garantir que os parâmetros organoléticos da água residual tratada, como a cor e o odor, sejam minimamente aceitáveis. Além disso, a ApR deve apresentar características de qualidade que não favoreçam a ocorrência de crescimento de biofilmes nas paredes das tubagens, fenómenos de corrosão e incrustações (Monte & Albuquerque, 2010).

Em termos de disponibilidade do caudal, a fiabilidade do sistema de abastecimento de água reutilizável para combate a incêndios tem de ser a mesma de um sistema de água potável, isto é, tem de assegurar o caudal de ponta diário e horário.

5 TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS E O RESPECTIVO USO

5.1 Breve caracterização das águas residuais

Para a água ser reutilizada é necessário que a água residual recolhida pelo sistema de coletores passe por um tratamento rigoroso na estação de tratamento de águas residuais (ETAR).

Segundo o Decreto-Lei n.º 152/97, as águas residuais classificam-se em:

- Águas residuais domésticas (ARD), estas são as águas residuais de serviços e de instalações residenciais, essencialmente provenientes do metabolismo humano e atividades domésticas;
- Águas residuais industriais (ARI), estas são provenientes de qualquer atividade que não possam ser classificadas como águas residuais domésticas nem sejam águas pluviais;
- Águas residuais urbanas (ARU), estas são as águas residuais domésticas ou a mistura destas com águas residuais industriais e/ou com pluviais;

As águas residuais são recolhidas e conduzidas até à ETAR, pelos sistemas de drenagem de águas residuais (AR). Conforme o Decreto-Lei n.º 23/95, esses sistemas subdividem-se em:

- separativos – constituídos por duas redes de coletores distintas, uma destinada às ARD e ARI e outra à drenagem das águas pluviais ou similares;
- unitários – constituídos por uma única rede de coletores, na qual são admitidas conjuntamente as ARD, as ARI e as águas pluviais;

Em ocasiões de maior pluviosidade, os sistemas de drenagem unitários enfrentam o desafio de encaminhar elevados caudais à ETAR, estas frequentemente excedem a sua capacidade de tratamento. Isso torna necessário desviar parte do caudal logo à entrada da ETAR, por meio de um coletor de recurso, lançando-o no meio recetor sem tratamento adequado. Esse desvio resulta no aumento da poluição dos corpos d'água recetores e no incremento dos riscos para a saúde pública.

Portanto, nas últimas décadas, a tendência tem sido a construção de sistemas de drenagem separativos. Nesses sistemas, as ARU são tratadas em Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), enquanto as águas pluviais são coletadas em uma rede exclusiva e descarregadas diretamente no meio recetor. Essa descarga ocorre após a passagem por grades de grande espaçamento, que retêm ramos, pneus e outros sólidos de grandes dimensões (Marecos do Monte et al., 2016).

As águas residuais (AR) são bastante diversificadas tanto qualitativamente quanto quantitativamente, pois a sua composição depende das diferentes atividades humanas e os seus hábitos, além disso são também influenciadas pelo clima e pelo tipo de sistema de drenagem.

Posto isto, as AR consistem numa complexa mistura de substâncias dissolvidas e em suspensão, povoada por numerosos microrganismos de diversos tipos, muitos dos quais são de origem fecal e alguns são patogénicos.

A caracterização qualitativa e quantitativa das AR é fundamental para se concetualizar a fileira de tratamento da ETAR. Para facilidade de sistematização, as características da AR classificam-se em três grandes grupos: físicas, químicas e microbiológicas (Marecos do Monte et al., 2016).

O conhecimento destas características é fundamental para determinar o método do tratamento adequado, avaliar a eficiência do método do tratamento selecionado, efetuar a avaliação do impacto ambiental, garantir o cumprimento da legislação e respetiva normas, e por último para a realização dos procedimentos de monitorização e controlo.

As principais características físicas das AR são: os sólidos, a turvação, a cor, o odor, a temperatura, a densidade e a viscosidade.

A caracterização química das AR, deve basear-se no agrupamento dos compostos por semelhança de características, pois existe uma infinidade de substâncias de origem antropogénica e natural, acrescendo ainda o facto de que o número de substâncias novas introduzidas no mercado aumenta anualmente, acabando estas, por atingir às AR.

As componentes que permitem caracterizar a água do ponto de vista químico são o pH, a alcalinidade, os cloretos (Cl), o oxigénio dissolvido (O_2), a matéria orgânica, os nutrientes, os óleos e gorduras, as substâncias tensioativas (detergentes), os metais pesados e os compostos orgânicos perigosos.

O pH e alcalinidade estão intrinsecamente ligados entre si, embora possuem conceitos diferentes, sendo que o pH é o parâmetro que avalia a concentração de iões H^+ na água, traduzindo assim o seu carácter ácido, neutro ou básico, e a alcalinidade é uma característica que reflete a capacidade da água em neutralizar os ácidos.

A matéria orgânica, refere-se a todos os compostos que contêm átomos de carbono. Excetuam-se desta definição os compostos da família do CO_2 , como os carbonatos e hidrogenocarbonatos, os cianetos e um reduzido número de outros compostos.

Assim, no contexto desta definição, entre os compostos orgânicos de maior interesse biológico e comercial podem citar-se os produtos petrolíferos, a borracha, os plásticos e fibras sintéticas, os antibióticos e as vitaminas, os fertilizantes agrícolas, os pesticidas, os açúcares, os corantes, as tintas, etc. Praticamente todas estas substâncias estão presentes nas AR.

A grande maioria dos compostos orgânicos é biodegradável. A biodegradação é o processo de transformação dos compostos orgânicos em compostos minerais ou inorgânicos, por ação de seres vivos, particularmente de microrganismos (Marecos do Monte et al., 2016).

Os processos de biodegradação da matéria orgânica, são categorizados como aeróbias, se o aceitador de elétrons for o oxigénio, como anóxicos se o aceitador final de elétrons for o NO_3^- ou o NO_2^- , e por último como anaeróbios, se os aceptadores finais forem compostos orgânicos ou Fe^{3+} , SO_4^{2-} ou CO_2 (Metcalf & Eddy, 2003).

A quantificação da matéria orgânica presente nas águas residuais (AR) é muito importante, pois permite a avaliação da biodegradabilidade da matéria orgânica. O conhecimento deste critério, irá exercer uma influência enorme na seleção do esquema de tratamento adequado para as AR.

De acordo com Marecos do Monte et al. (2016), a matéria orgânica é quantificada pelos seguintes parâmetros:

- CBO (Carência Bioquímica de Oxigénio) – é a quantidade de oxigénio utilizado na oxidação bioquímica da matéria orgânica de uma água, durante um tempo determinado, a uma dada temperatura, geralmente 5 dias e 20 °C, respetivamente;
- CQO (Carência Química de Oxigénio) – é um parâmetro de avaliação da matéria orgânica presente na água que traduz o oxigénio necessário para a oxidação química dessa matéria orgânica com dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), em condições padronizadas, é de referir que o dicromato oxida quimicamente a matéria orgânica biodegradável e a não biodegradável;

Como mencionado anteriormente, um dos parâmetros que permite caraterizar a água do ponto de vista químico, são os nutrientes. Diversas categorias de nutrientes são encontradas, porém as que mais impactam na qualidade da água são o nitrogénio (N) e o fósforo (P).

O azoto ou nitrogénio (N) é um nutriente vital, por ser um componente fulcral nas estruturas tecidulares proteica, mas a sua presença na água é, geralmente, indicadora de poluição.

Se o corpo d'água conter N e/ou P em excesso, existe o risco de ocorrer eutrofização.

O fósforo (P), é um nutriente cuja presença nas AR, provém de compostos orgânicos proteicos, de detergentes, e fertilizantes.

Uma das componentes que também caracteriza a água de um ponto de vista químico são os metais pesados, estes são considerados como um grupo de elementos variável, que inclui metais (ex. bário e chumbo) e semimetais ou metalóides, os quais têm todos em comum, a circunstância de representarem um potencial de toxicidade ecológica e um risco de saúde.

A presença de metais pesados em AR é devida, principalmente, a poluentes de origem antropogénica, sobretudo de origem industrial (Marecos do Monte et al., 2016).

Por fim, para finalizar a caracterização química da AR, aborda-se os compostos orgânicos perigosos.

Existem milhares desses compostos, devido à sua síntese quase exponencial nas últimas décadas. Eles representam uma fonte de preocupação ambiental, pois muitos não são biodegradáveis e alguns são tóxicos, cancerígenos, mutagénicos, teratogénicos, tóxicos para a reprodução e perigosos para o meio ambiente.

Os compostos orgânicos perigosos mais comuns são os pesticidas utilizados na agricultura, no tratamento de madeiras, na exterminação de roedores e outras pestes e também os denominados por emergentes, que englobam os compostos farmacêuticos (ex. antibióticos e hormonas sexuais) e as fragrâncias.

Do ponto de vista microbiológico, a AR contém microrganismos em enorme quantidade, alguns dos quais são patogénicos, estes são geradores de doença.

Os microrganismos patogénicos presentes nas AR provém das fezes e urina de hospedeiros humanos (transportados nas ARD) e dos animais (ARI provenientes de matadouros, de indústrias agropecuárias e de AR pluviais em sistemas de drenagem unitários).

Os patogénicos presentes nas AR e suscetíveis de disseminação no ambiente classificam-se pelos seguintes grupos: bactérias, protozoários, helmintas e vírus.

A caracterização microbiológica das AR tem como finalidade determinar o seu grau de contaminação por microrganismos patogénicos e a consequente possibilidade de transmissão de doenças.

Essa caracterização é efetuado através da quantificação de um indicador de contaminação fecal (ex. *E.coli*, estreptococos), que fazem parte da flora intestinal normal, visto que se constatou que não se encontram microrganismos patogénicos na água quando não estão presentes microrganismos típicos do trato intestinal das espécies de sangue quente.

Conclui-se então que, o caudal e a composição das AR a tratar, bem como as suas variações diárias e sazonais, constituem os elementos essenciais que determinam a conceção da fileira de tratamento, o seu projeto e posteriormente, a operação e manutenção (O&M) da ETAR (Marecos do Monte et al., 2016).

5.2 O papel das ETARs na salvaguarda da saúde pública e da proteção ambiental

Uma ETAR é uma instalação que engloba uma fileira de operações unitárias (métodos de tratamento assentes em fenómenos físicos) e processos unitários (métodos de tratamento baseados em fenómenos químicos e/ou biológicos) destinados a remover as substâncias poluentes e também, em certos casos, os microrganismos patogénicos presentes nas AR, de modo a produzir um efluente – água residual tratada (ART) – com a qualidade pretendida.

Os poluentes a remover nas ETAR encontram-se dissolvidos e/ou em suspensão (grosseira, fina e coloidal). A separação destes poluentes ao longo da fileira de tratamento dá origem ao efluente tratado, bem como a resíduos sólidos (gradados, areias e lamas) e gasosos (gás sulfídrico, dióxido de carbono, metano e outros gases em menor volume).



Figura 16: Vista aérea da ETAR de Vilamoura
(Fonte: Águas de Portugal)

Os resíduos sólidos e gasosos originam problemas ambientais e sanitários, que obrigam ao tratamento dos mesmos. Assim, numa ETAR as operações e processos de tratamento são organizados em fileiras que depuram a fase líquida das AR, e tratam a fase sólida e a fase gasosa (Marecos do Monte et al., 2016).

Segundo a European Environment Agency (EEA), o tratamento das águas residuais é efetuado para evitar situações inaceitáveis tais como:

- Riscos para a saúde pública;
- Poluição dos recursos hídricos para os quais são descarregados efluentes – rede hidrográfica, lagos e o mar – até ao ponto em que danificam a flora e fauna aquática ou em que limitam as atividades económicas, sociais, e de recreio normais como consequência da contaminação ou desoxigenação;
- Poluição do ambiente em geral, sob a forma de odores desagradáveis ou paisagem alterada e contaminação das águas subterrâneas;

Adicionalmente, dispor de tratamento de águas residuais é uma boa prática social, existindo uma aversão do público no geral, em encontrar resíduos sanitários em meios hídricos com importância ambiental.

As ETAR são, assim, importantes instrumentos para a preservação ambiental e a proteção da saúde pública, sendo exigida a sua presença em aglomerados populacionais a partir de uma determinada dimensão e a sua atividade regulada por certas diretivas como a Diretiva n.º 91/271/CEE e o Decreto-Lei n.º 152/97 .

Efetivamente, a Diretiva n.º 91/271/CEE constitui um dos mais importantes instrumentos da União Europeia (EU) no domínio da política da água, sendo objetivo da referida diretiva proteger o ambiente dos efeitos nefastos das descargas de águas residuais.

Esta diretiva foi alterada pela Diretiva n.º 98/15/CE, de 27 de fevereiro de 1998, pelo Regulamento (CE) n.º 1882/2003, de 29 de setembro de 2003 e por último pelo Regulamento (CE) n.º 1137/2008, de 22 de outubro de 2008.

A Diretiva n.º 91/271/CEE foi então transposta para a legislação portuguesa, respetivamente, pelo Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho de 1997. Desde então já foram registadas sete alterações, sendo a última alteração efetuada pelo Decreto-Lei n.º 77/2021 de 27 de agosto de 2021.

Segundo o site da União Europeia, a Diretiva n.º 91/271/CEE tem agora 30 anos e precisa de ser revista para fazer face aos novos desafios e incluir as novas tecnologias de tratamento que foram surgindo ao longo destas três décadas, sendo que o processo legislativo da reformulação da diretiva já está em pleno andamento.

A proposta da Comissão para a reestruturação da diretiva propõe regras mais rigorosas e metas mais ambiciosas no que diz respeito aos micropoluentes, a fim de avançar rumo ao objetivo de «poluição zero», ou seja, um ambiente sem poluição nociva até 2050, ambicionado pelo Pacto Ecológico Europeu. A reformulação da diretiva é crucial para garantir que a legislação europeia sobre águas residuais continue a proteger eficazmente o meio ambiente e a saúde pública, adaptando-se às novas realidades e desafios (União Europeia, 2023).

Enquanto a nova diretiva sobre o tratamento de águas residuais não é promulgada, a Diretiva n.º 91/271/CEE continua em vigor. Esta estabelece valores-padrão com o objetivo de proteger e preservar o ambiente das águas recetoras, que podem ser mais ou menos restritivos, dependendo do nível de tratamento ou do local da descarga.

A decisão sobre a deposição aceitável de um efluente numa dada água recetora deve ter em consideração a topografia do local, a população do aglomerado, e os condicionalismos hidrológicos, assim como, por exemplo, o ponto de descarga mais adequado, as condições de misturas do meio hídrico, etc. (European Environment Agency (EEA), n.d.).

Em suma, o nível de tratamento de água residual deve ser definido de modo a satisfazer as normas de qualidade estabelecidas para a sua descarga em cursos de água, lagoas ou águas costeiras, e deve depender em primeiro lugar, do método planeado para a deposição ou reutilização de efluentes e lamas tratadas, pois a seleção do processo de tratamento apropriado deverá cumprir os objetivos da estratégia definida para deposição ou reutilização de efluentes e lamas tratadas.

De referir também, que as ARI poderão e deverão ser sujeitas a um tratamento e a uma autorização específica, tal como exigido pela Diretiva n.º 91/271/CEE, antes da descarga destas nos sistemas de drenagens.

Por fim, as etapas de tratamento das águas residuais (fase líquida) nas ETAR, por ordem sequencial, são as seguintes:

- Tratamento preliminar
- Tratamento primário
- Tratamento secundário
- Tratamento terciário
- Tratamento avançado

5.3 Tratamento preliminar

O objetivo do tratamento preliminar é proteger os órgãos e processos de tratamento a jusante, bem como evitar obstruções dos circuitos hidráulicos e contaminações das águas e lamas, permitindo, desta forma, uma maior eficiência da fileira de tratamento.

Esta etapa consiste numa sequência de operações unitárias destinadas à remoção de sólidos grosseiros, areias, gorduras e ainda, por vezes, uma equalização de caudais e de carga poluente.

As operações unitárias passíveis de serem combinadas ao nível do tratamento preliminar são: a gradagem e trituração, a desarenação, a equalização e a remoção de óleos e gorduras (Marecos do Monte et al., 2016).

A gradagem tem como propósito a remoção de sólidos em suspensão e flutuantes de grande dimensão, tais como trapos, panos, plásticos, pedaços de madeira, latas, etc.

Este processo consiste na passagem da AR por um conjunto de barras ou por uma malha de telas perfuradas, onde os sólidos de tamanho superior ao respetivo espaçamento ou abertura ficam retidos.

O material retido nas grades deve ser removido manualmente ou mecanicamente, com uma frequência adequada, de modo a facilitar passagem do líquido, evitando assim a subida do nível da água a montante e o aumento da perda de carga do sistema, com o risco de, no limite, provocar o transbordo das AR e inundação do recinto com águas contaminadas.

De acordo com Marecos do Monte et al. (2016), a remoção de sólidos de menor dimensão, por este método é conhecida como tamisação.

Para complementar a gradagem, usa-se o triturador, este é um equipamento que consiste num tambor, que roda num eixo vertical, através do qual a água residual passa do exterior para o interior. Os gradados são retidos na superfície exterior do tambor e triturados por lâminas (prato cortante), e reduzidos a pedaços de pequenas dimensões, que por sua vez são conduzidos através das aberturas do cilindro (European Environment Agency (EEA), n.d.).

Como frequentemente, as AR chegam à ETAR com variações temporais significativas no fluxo e na carga poluente, foi implementado a equalização para fazer face a esta adversidade.

Esta operação é geralmente realizada em tanques específicos onde as AR são armazenadas temporariamente e misturadas de forma a uniformizar o fluxo e a concentração de poluentes. Esses tanques podem estar equipados com misturadores mecânicos ou aeração para manter os sólidos suspensos e evitar a sedimentação.

Em suma, a implementação da equalização numa ETAR, permite otimizar a eficiência das operações e processos de tratamento a jusante na fileira de tratamento, possibilitando ainda a redução da dimensão dessas unidades, e dos inerentes custos de construção e O&M.

Por último, uma das operações que poderá ser adotada no esquema do tratamento preliminar é a desarenação, esta tem como propósito a remoção de partículas sólidas de natureza predominantemente inorgânica (e.g. areia, partículas metálicas, bagos de café, casca de ovo) com diâmetro mínimo de 0,3 mm, a que corresponde uma velocidade de sedimentação superior a 0,03 m/s (NP EN 12255-3, 2006), designadas por areias.

As AR entram no desarenador, uma espécie de tanque ou canal, onde a velocidade do fluxo das AR é reduzida. Isso é feito porque, com a redução da velocidade, as partículas mais pesadas (ex. areia), tem tempo suficiente para se depositar no fundo do tanque devido à gravidade.

As partículas de areia e outros sólidos pesados sedimentam no fundo do desarenador, enquanto as AR, agora mais “limpas”, seguem para as próximas etapas de tratamento.

Existem vários tipos de desarenadores como os de escoamento horizontal, os arejados, e por fim, os tangenciais ou tipo-vórtice.

Nos desarenadores, também poderá ocorrer, simultaneamente, uma operação unitária denominada flotação. Esta tem como finalidade a separação de partículas sólidas ou líquidas em suspensão na água, fazendo-as ascender à superfície do líquido, com o recurso à injeção de bolhas de ar.

Forma-se então uma camada flutuante (escuma ou lama), que vai ser removida por raspagem.

A flotação é mais indicada para separar partículas como óleos, gorduras e flocos biológicos, que são menos densos que as AR (Marecos do Monte et al., 2016).

5.4 Tratamento primário

De acordo com a Diretiva n.º 91/271/CEE, o tratamento primário é definido como o conjunto de operações e processos de tratamento, que asseguram uma redução mínima de 20 % da CBO₅ e de 50 % das partículas sólidas em suspensão (SS) nas AR.

Em termos práticos, o tratamento primário consiste na remoção dos sólidos em suspensão facilmente sedimentáveis.

Esta remoção, geralmente, é realizada por meio de sedimentação/decantação ou, mais raramente, através de flotação, podendo estas operações serem assistidas com recurso ao processo de coagulação química (Marecos do Monte et al., 2016).

O efluente final, após o tratamento primário, é aceitável para lançamento em águas poucos sensíveis.

Na sedimentação primária, a matéria em suspensão sedimenta por gravidade até ao fundo do tanque durante um período de algumas horas.

Esta técnica é otimizada, através da adição de químicos, como a cal, que promovem a floculação e a coagulação, o que aumenta a quantidade de sólidos sedimentados (lamas) no fundo do tanque.

Essas lamas precisam de ser removidas por mecanismos como a raspagem, para posterior tratamento ou deposição.

Os tipos de tanques de sedimentação, mais operados nas ETAR, são: o retangular (de fluxo horizontal), o circular (de fluxo axial), os de fluxo ascendente e por fim os lamelares (European Environment Agency (EEA), n.d.).

Por fim, os sedimentadores primários também, podem e devem incluir, um sistema de remoção de gorduras e espumas, mesmo que anteriormente exista uma unidade para esse efeito.

5.5 Tratamento secundário

Geralmente, o tratamento secundário é assegurado por processos biológicos, estes subdividem-se em duas grandes vertentes: os sistemas de biomassa suspensa (LA; LE) e os sistemas de biomassa fixa (LP; BD).

No entanto, também poderá ser efetuado por processos físico-químicos, como a decantação assistida por coagulação-floculação, embora estes sejam menos vantajosos, pois acarretam maior custo de operação e maior formação de produtos residuais.

O tratamento secundário tem como principais metas, as seguintes:

- Remoção bioquímica de CBO (incluindo a dissolvida);
- Remoção biológica de nutrientes (N e P);
- Uma redução da CBO₅ > 90%;
- Produzir efluentes aceitáveis para lançamento em águas comuns;

5.5.1 Sistemas de biomassa suspensa

Nos sistemas de biomassa suspensa, a matéria sólida (particulada e dissolvida) presente nas AR, é metabolizada pela biomassa (mistura de bactérias, rotíferos e protozoários), que se encontra em suspensão, em condições controladas (OD, ph, T, nutrientes), sendo este o mecanismo comum em diversos processos de biomassa suspensa como as lamas ativadas (LA) ou as lagoas de estabilização (LE).

No processo de lamas ativadas, as AR afluentes, normalmente provenientes da sedimentação primária, são misturadas com microrganismos, estes são conhecidos como lamas ativadas.

Estas lamas absorvem e alimentam-se da matéria poluente suspensa ou dissolvida na água residual.

O tratamento é realizado num tanque, que tem normalmente 2-4 m de profundidade, ao qual é fornecido oxigénio, com recurso a uma operação denominada por arejamento. Este processo visa viabilizar o metabolismo aeróbio dos microrganismos, manter a biomassa em suspensão e assegurar uma mistura homogênea entre a biomassa e as águas residuais.

Após a passagem pelo tanque de aeração, a mistura de água e biomassa segue para o decantador secundário, onde as lamas são separadas do efluente tratado.

As lamas decantadas são recirculadas para o início do processo, mas uma proporção tem de ser retirada, caso contrário o decantador secundário pode encher com lamas e tornar-se incapaz de as separar eficientemente do efluente tratado.

O excesso de lamas representa o crescimento da biomassa e tem de ser removido para manter a concentração da biomassa estável no tanque arejado (European Environment Agency (EEA), n.d.).

Tal como referido, um dos sistemas de biomassa suspensa mais comum são as lagoas de estabilização (LE), estas consistem geralmente em pequenos lagos ou bacias de retenção artificiais, com uma profundidade de 0,8 a 2,5 m e costumam ser aplicadas em áreas rurais, devido á necessidade de espaço. As lagoas podem ser classificadas como aeróbias (lagoas de maturação), facultativas e anaeróbias, de acordo com o processo microbiológico envolvido (European Environment Agency (EEA), n.d.).

Geralmente, o tratamento nas lagoas é feito de uma maneira sequencial, sendo que o efluente passa primeiro pela lagoa anaeróbia, onde sofre uma metabolização pelos microrganismos anaeróbios e os sólidos presentes na AR sedimentam no fundo da lagoa.

Em seguida, o efluente é conduzido para a lagoa facultativa, onde ocorre uma estabilização e purificação do efluente através da associação de bactérias aeróbias, anaeróbias e facultativas.

Por fim, o efluente chega ao estágio final de tratamento, as lagoas aeróbias, na qual ocorrem a redução de sólidos, matéria orgânica em solução, microrganismos de origem fecal e amónia, e por fim, a destruição de microrganismos patogénicos pela ação da luz ultravioleta (UV).

É de referir, que nem sempre o tratamento utiliza os três tipos de lagoas, sendo a esquematização das mesmas dependentes da carga orgânica presentes nas AR.

Nos climas quentes, as lagoas de estabilização são mais eficientes no tratamento das águas residuais devido à maior exposição solar e às temperaturas mais elevadas, que aceleram os processos biológicos de decomposição da matéria orgânica.

Em suma, as lagoas de estabilização são um bom investimento económico e ambiental, devido à sua construção simples e ao facto de combinarem várias operações/processos de tratamento, como a equalização/homogeneização, sedimentação primária e desinfecção por radiação UV.

De salientar que todos estes processos ocorrem em plena natureza, o que pode levar à emissão pontual de odores desagradáveis e possível proliferação de insetos.

5.5.2 Sistemas de biomassa fixa

Nos sistemas de biomassa fixa, a matéria sólida (particulada e dissolvida) presente nas AR, é metabolizada pelo biofilme (mistura de bactérias, partículas e polímeros extracelulares).

O biofilme cresce aderido à superfície de um suporte físico, este pode ser areia, pedra ou material plástico. Esse suporte deve ser durável, inerte, insolúvel e resistente à abrasão.

Os sistemas de crescimento fixo podem ser submersos, total ou parcialmente, ou não-submersos, sendo os mais comuns, os leitos percoladores (LP) e os biodiscos.

Eles possuem uma grande vantagem em relação aos sistemas de crescimento suspenso, pois são resistentes a cargas tóxicas.

Os leitos percoladores consistem em um tanque ou um recipiente grande preenchido com um meio de suporte (como pedras, brita ou materiais plásticos) sobre o qual cresce um biofilme de microrganismos. Eles podem ter configuração circular ou retangular, e ocasionalmente são usadas outras formas.

A AR é aplicada no topo da superfície do leito por meio de um distribuidor rotativo, que, no caso dos leitos circulares, é impulsionado pelo efeito do jato da água residual que esguicha sobre o leito, ou por outros meios tais como, um motor eléctrico ou uma turbina impulsionada pelo fluxo de água residual.

Os leitos retangulares usam motores ou turbinas (European Environment Agency (EEA), n.d.).

Após esta distribuição, a AR percola através do meio de suporte, entrando em contacto com o biofilme que cresce na superfície dos materiais, devido ao consumo da matéria orgânica presente na AR.

Com o crescimento contínuo do filme biológico, as camadas exteriores deste separam-se continuamente do meio de enchimento, formando assim a lama húmica (lama do biofilme) que tem de ser separada do efluente num decantador.

Depois da separação do efluente, a lama é normalmente bombeada para montante dos decantadores primários, onde decantam conjuntamente com as lamas primárias provenientes da água residual afluyente.

Apesar dos leitos percoladores, terem algumas desvantagens como odores desagradáveis, e o favorecimento da presença de insetos e gastrópodes, eles retêm acuradamente a sua biomassa e são menos sensíveis às flutuações do caudal e a menores concentrações de CBO.

Os biodiscos consistem numa série de discos, onde o filme biológico cresce, suportados por um veio comum, parcialmente imerso na água residual. A rotação do veio permite o contacto da biomassa de modo alternado com a água residual, e com o oxigénio do ar (European Environment Agency (EEA), n.d.). Devido ao crescimento contínuo, os bioflocos desprendem-se do suporte, sendo enviados para a entrada do decantador primário.

Como são equipamento fáceis de operar e removem eficientemente a CBO, embora não possuam a flexibilidade operacional para atender a maiores exigências, são considerados ideias para servir pequenas comunidades.

5.5.3 Remoção biológica de azoto e fósforo

Os compostos de azoto e fósforo estão quase sempre presentes nas águas residuais e podem causar o desenvolvimento de algas nos cursos de águas, lagos e estuários a jusante do ponto de descarga destas. Essa proliferação de algas leva a graves problemas ambientais, como a eutrofização.

Devido a esta problemática, é necessário remover os nutrientes, com recurso aos tratamentos presentes nas ETAR. Na fase do tratamento secundário, é possível remover biologicamente o azoto e o fósforo.

Nas AR, o azoto encontra-se principalmente, sob a forma de amoníaco/amónia (NH_3), e em menores concentrações sob a forma de nitrito e nitrato, dependendo da extensão e estado do sistema de drenagem.

A remoção biológica do azoto da água residual ocorre através da nitrificação, que consiste na oxidação dos compostos amoniacais sucessivamente a nitrito e a nitrato, por ação de bactérias autotróficas aeróbias (Marecos do Monte et al., 2016).

Depois desta primeira fase, ocorre a desnitrificação, que consiste em um processo de redução dos nitratos em sucessivas etapas até à formação de azoto molecular (N_2), por bactérias heterotróficas anaeróbias (*Pseudomonas*). O N_2 , é então libertado para a atmosfera.

Quer os sistemas de lamas ativadas, quer os processos com biomassa podem ser usados para a nitrificação e desnitrificação.

Os sistemas de lamas ativadas são mais comuns e tem custos de operação mais baixos, enquanto os processos com massa fixa são mais compactos, mas geralmente tem custos de operação mais elevados (European Environment Agency (EEA), n.d.).

Os processos de remoção biológica de azoto podem ser classificados de acordo com a relação entre as fases de nitrificação e desnitrificação no processo:

- Pré – desnitrificação ou desnitrificação pré-anóxica
- Pós – desnitrificação ou desnitrificação pós-anóxica.

O processo de remoção biológica do fósforo depende, essencialmente da criação de condições anaeróbias, com ausência completa de oxigénio e nitrato, em que estão presentes produtos da fermentação principalmente ácidos gordos voláteis de cadeia curta.

Estas condições favorecem o crescimento de certas espécies de bactérias (*Acinetobacter*), que consomem e armazenam ácidos gordos no interior das suas células.

Este processo usa a energia que é obtida pela hidrólise dos polifosfatos armazenados nas células das bactérias, libertando concomitantemente fosfato para o meio envolvente.

A mistura da água residual e microrganismos é depois transferida para condições aeróbias, onde os fosfatos são reabsorvidos para o interior das células.

A remoção contínua de uma porção de bactérias do sistema, tem como efeito global a remoção de fosfato do processo.

Para o processo operar com sucesso, o nitrato formado durante a oxidação da amónia tem de ser excluído da zona anaeróbia (European Environment Agency (EEA), n.d.).

5.6 Tratamento terciário

O tratamento terciário complementa as etapas anteriores de tratamento, quando tal é exigido, quer pela qualidade do meio recetor, quer pelos usos previstos para o mesmo.

Geralmente, o objetivo do tratamento terciário consiste na remoção físico-química de nutrientes (compostos de azoto e/ou de fósforo), de modo a proteger o meio recetor do risco de eutrofização, ou na remoção de microrganismos patogénicos, a fim de proteger as águas balneares (Marecos do Monte et al., 2016).

Em síntese, as metas a atingir com o uso do tratamento terciário são, abaixo mencionadas:

- Afinação do efluente final (remoção de refratários/ microalgas);
- Remoção físico-química de nutrientes;
- Remoção de microrganismos patogénicos (desinfecção);
- Produzir efluentes aceitáveis para lançamento em águas balneares;

O tratamento terciário poderá iniciar-se com uma filtração, esta permite a afinação do efluente e aumenta a eficácia dos processos a jusante.

A coagulação e floculação poderão preceder ou não, a filtração, que se subdivide em dois tipos:

- Convencional: utilização de meios porosos – rápida (em profundidade) ou lenta (à superfície);
- Avançada: utilização de membranas, sendo a microtamisação a mais comum no tratamento terciário;

Tal como referido, no tratamento terciário também se efetua a remoção de nutrientes, mas por via físico-química. A remoção de azoto pode ser efetuada de várias formas:

- Por precipitação em conjunto com compostos fosfatados, mediante a adição de cal;
- Pela conversão de amónia em amoníaco gasoso, através do aumento do pH;
- Pela oxidação com compostos clorados;
- Por permuta iónica, onde o ião amónia é trocado, embora esta técnica seja de difícil aplicação;

Em paralelo, a remoção de fósforo pode ser por tratamento químico, este consiste na precipitação de fosfatos pela adição de sais de iões metálicos multivalentes e subsequente remoção do precipitado, geralmente por decantação. Os iões metálicos mais utilizados são o cálcio (Ca^{2+}), o alumínio (Al^{3+}) e o ferro (Fe^{3+}), sulfato de alumínio, aluminato de sódio, cloreto férrico e sulfato ferroso (Marecos do Monte et al., 2016).

5.6.1 Desinfecção

A desinfecção é o processo unitário que tem por objetivo reduzir a quantidade de microrganismos patogénicos presentes nas AR, eliminando-os ou reduzindo-os até um nível compatível com a proteção da saúde pública, antes da sua descarga no meio recetor ou da sua reutilização. O termo desinfecção tem um significado distinto do de esterilização, que significa a destruição total de todos os organismos vivos presentes no meio (Marecos do Monte et al., 2016).

A eliminação dos patogénicos pode ser causada por: danos infligidos pelo desinfetante na membrana celular e a consequente rotura da membrana e lise dos microrganismos; alteração da atividade de formação do ADN ou do ARN dos microrganismos; mudança da natureza coloidal do protoplasma, da atividade enzimática e da permeabilidade celular (Metcalf & Eddy, 2003).

A desinfecção da AR pode conseguir-se pela ação de: agentes físicos, como a temperatura, as radiações UV e γ ; agentes químicos, como os compostos clorados e o ozono; e ainda métodos biológicos (European Commission, 2006).

A cloragem, também designada por cloração, é o processo de desinfecção da água por adição de cloro molecular ou de compostos clorados e é largamente praticada desde o início do século XX.

Os compostos clorados reagem facilmente com outros compostos, oxidando-os, pelo que quando se pretende desinfetar AR por cloragem, é necessário adicionar uma dose de desinfetante suficiente para oxidar todas as substâncias orgânicas e inorgânicas oxidáveis presentes na água (cianetos, sulfuretos, sulfitos, nitritos, brometos, ferro e manganês), para destruir os patogénicos e ainda para deixar uma concentração residual de cloro que possa responder a carências futuras de cloro (por posterior contaminação/poluição da água durante o seu transporte em condutas, por exemplo).

Isto significa que a desinfecção só é assegurada se a dose de cloro adicionada à água ultrapassar o chamado ponto crítico.

A descoberta, nos anos 70, de que a cloragem origina a formação de compostos cancerígenos, por combinação do cloro com compostos orgânicos presentes na água residual, mesmo em concentrações muito reduzidas, tem vindo a afastar a cloragem da desinfecção de AR em favor de outros processos.

Apesar desta desvantagem, a sua aplicação é conveniente nos casos em que é necessário prevenir contaminações posteriores à desinfecção.

A ozonização é o processo de desinfecção da água por adição de ozono (O_3). Apesar de ser o processo mais eficiente de desinfecção da água, a sua aplicação tem sido mais reduzida comparativamente a outros processos, devido aos seus elevados custos (Marecos do Monte et al., 2016).

O ozono, gera-se no local, com a passagem de uma descarga elétrica através de ar seco ou oxigénio (European Environment Agency (EEA), n.d.).

A aplicação do ozono na AR, inativa os microrganismos por oxidação dos compostos que formam a sua membrana celular e o citoplasma, e por destruição do seu ADN.

Por fim, a desinfecção também pode ser feita através da radiação UV, esta é produzida pela descarga de lâmpadas de mercúrio. Ao penetrar nas células, a radiação UV danifica o material genético dos microrganismos, eliminando-os ou inativando-os ao afetar a sua capacidade de reprodução (Marecos do Monte et al., 2016).

As lâmpadas são geralmente utilizadas de forma a poderem ser imersas num canal onde passa o efluente, sendo a dose de UV controlada pelo número de lâmpadas utilizadas e pelo tempo de contacto do efluente com elas.

Existe tendência de acumulação de depósitos á superfície das lâmpadas, o que conduz a uma redução da intensidade de radiação produzida.

Para evitar este fenómeno, alguns sistemas têm mecanismos de autolimpeza, o que não dispensa a limpeza manual com intervalos regulares (European Environment Agency (EEA), n.d.).

Embora na desinfecção por radiação, não há formação de compostos organoclorados, como na cloragem, ela é sensível á presença de sólidos suspensos (SS). A presença desses sólidos na água diminui a remoção de patogénicos por radiação UV, pois as partículas em suspensão, além de dispersarem a radiação incidente, constituem verdadeiros escudos protetores que impedem radiação UV de atingir os microrganismos adsorvidos á superfície das partículas (Marecos do Monte et al., 2016).

5.7 Tratamento avançado

Para que a água possa ser reutilizada de forma segura, esta terá de se submeter ao tratamento avançado, este tem como finalidade a remoção de poluentes dissolvidos presentes em concentrações residuais, como certas substâncias refratárias aos níveis de tratamento precedentes.

Alguns dos micropoluentes tóxicos removidos pelo tratamento avançado incluem subprodutos da desinfecção da água (THM, brometos), disruptores endócrinos (estrogénio, estradiol, estriol), produtos farmacológicos, cosméticos e fragrâncias, vírus e protozoários, pesticidas e herbicidas, e, por fim, metais pesados.

O tratamento avançado abrange uma grande variabilidade de processos de tratamento, tais como os processos de membrana, a permuta iónica e a adsorção com carvão ativado.

Os processos de membrana utilizam uma membrana de fina espessura, que funciona como uma barreira física seletiva á passagem de certos constituintes das AR.

A seletividade da membrana permite separar a alimentação, isto é o afluente, em duas correntes distintas: a que atravessa a membrana, designada por permeado, e que constitui a água tratada, e o concentrado, que contém os poluentes removidos.

O mecanismo que explica a seletividade das membranas, aos constituintes cuja passagem é permitida, resulta da combinação de uma ação de filtração (separação pelo tamanho das partículas, sendo retidos pela membrana os constituintes de dimensão superior à dos poros da membrana) com a força motriz que separa as moléculas de água. Essa força motriz pode ser uma diferença de pressão – positiva ou negativa (vácuo) – ou um gradiente de concentração.

A indução e manutenção do gradiente de pressão que assegura o tratamento de AR, nas membranas, obriga a um assinalável consumo de energia, que, pelo seu custo, constituiu durante muitos anos um obstáculo a uma mais ampla generalização deste tipo de tratamento de AR, não obstante o seu bom desempenho na remoção de poluentes (Marecos do Monte et al., 2016).

Nos últimos anos, têm sido desenvolvidos estudos e projetos, para reduzir os custos da energia nesses processos de membrana.

Os processos de membrana incluem várias alternativas tais como a osmose inversa, a ultrafiltração, a nanofiltração e a microfiltração, classificadas de acordo com a dimensão dos poros das membranas e com a pressão aplicada (European Environment Agency (EEA), n.d.).

A permuta iónica é usada na remoção de metais pesados, várias substâncias orgânicas tóxicas e também pode ser usado para a remoção de iões inorgânicos como a amónia.

Neste processo, o efluente passa através do leito de uma resina de permuta iónica, onde os iões originais da resina são trocados pelos iões a serem removidos.

A água residual tratada resultante pode estar completamente livre dos iões indesejados, enquanto a resina, rica em iões removidos, é regenerada.

O destino final da solução concentrada de regeneração, tal como o concentrado nos processos de membrana, pode ser um problema, e é um dos muitos inconvenientes.

Por último, a adsorção é um processo no qual átomos, iões ou moléculas de um fluido (gás ou líquido) aderem a uma superfície sólida. No tratamento avançado, a adsorção é feita com recurso ao carvão ativado, pois este é um material altamente poroso com uma grande área de superfície específica, o que o torna um excelente adsorvente.

A água tratada passa então pelo carvão ativado, onde ocorre a adsorção dos contaminantes restantes, incluindo compostos orgânicos persistentes, pesticidas, produtos farmacêuticos.

O carvão ativado é usado na forma granular, ou na forma de pó, e existe tecnologia para a sua regeneração (European Environment Agency (EEA), n.d.).

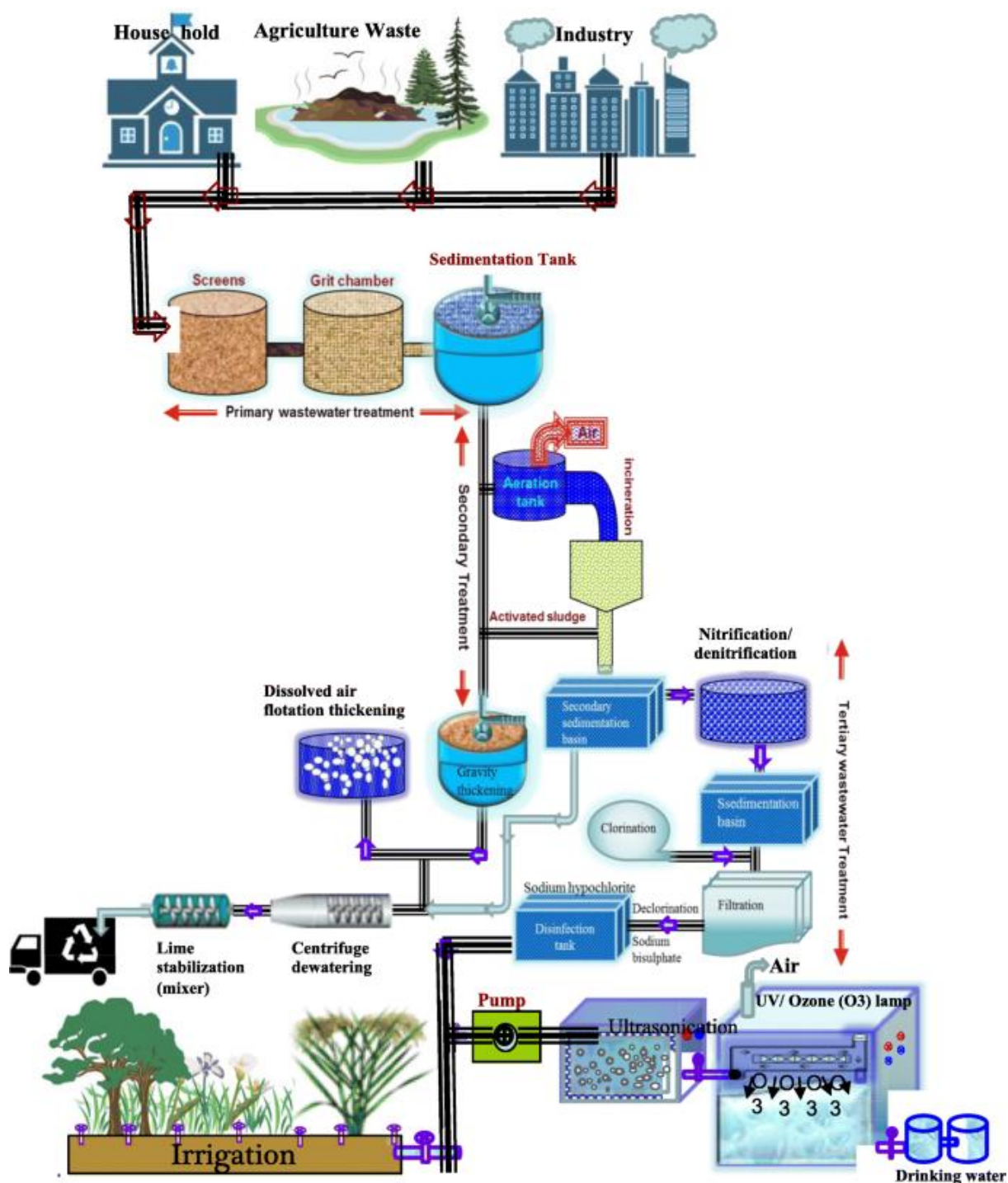


Figura 17: Esquema geral de uma ETAR
(Fonte: Kesari et al. (2021))

5.8 Esquematização final da ETAR e os usos da ApR

Na reutilização das águas residuais, é importante conceber e esquematizar a ETAR, de acordo com os usos pretendidos, sendo que o nível mínimo de tratamento é o terciário ou o avançado, dependendo da qualidade requerida para o posterior uso da água.

Independentemente do tipo de uso da ApR, é de notar que a remoção de microrganismos patogénicos é sempre necessária, por motivo da proteção da saúde pública (Marecos do Monte et al., 2016).

Além disso, é crucial haver um controlo ativo e eventuais restrições às descargas industriais nos sistemas de esgotos (European Environment Agency (EEA), n.d.).

Tratamento	Operações e processos de tratamento	Classe de constituintes									
		Sólidos em suspensão	Matéria coloidal	Matéria orgânica particulada	Matéria orgânica dissolvida	Azoto (N)	Fósforo (P)	Compostos vestigiais	Sólidos dissolvidos totais	Bactérias	Vírus
Primário	Coagulação										
	Decantação primária										
	Flotação										
Secundário	Lamas ativadas										
	Leitos percoladores										
	Discos biológicos										
	Lagoas de estabilização										
Terciário	Lamas ativadas										
	Desinfecção										
Avançado	Microfiltração										
	Ultrafiltração										
	Nanofiltração										
	Osmose inversa										
	Adsorção com carvão ativ.										
	Permuta iónica										

Tabela 2: Operações e processos de tratamento por nível de tratamento e respetiva classe de constituintes eliminadas (Fonte: Adaptada de Marecos do Monte et al. (2016))

Na análise da tabela 2, averigua-se que uma ETAR que contenha todos os níveis de tratamento, purifica a água de forma a poder ser reutilizada para os diferentes usos pretendidos.

Tal como já referido, no presente capítulo, a esquematização, conceção e nível de tratamento da ETAR dependerá das características iniciais da AR, da sensibilidade das águas recetoras das descargas e por fim, os usos finais das ApR.

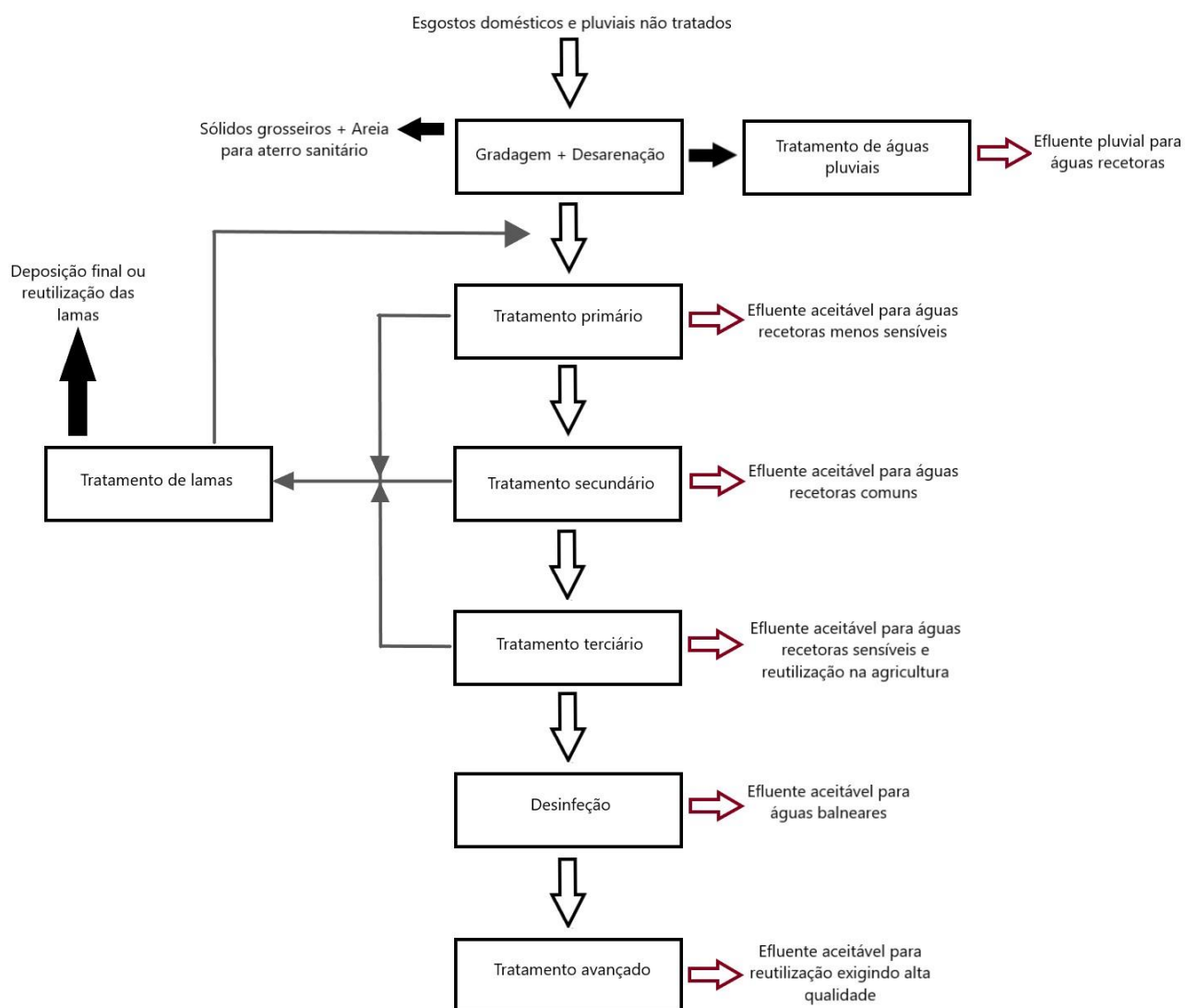


Figura 18: Diagrama esquemático de uma ETAR
(Fonte:European Environment Agency (EEA))

Constata-se com a figura 19, que nem todos os usos necessitam do tratamento avançado, como o uso paisagístico, ou o uso agrícola, mas no caso de se tratar de um SDAApR a água deverá passar por todos os níveis de tratamento por uma questão de imprevisibilidade do uso e pela proteção da saúde pública. A nível legislativo, a União Europeia, instituiu o Regulamento (UE) n.º 2020/741, onde são estabelecidos os requisitos mínimos para a qualidade da água e a respetiva monitorização e disposições sobre a gestão dos riscos, para a utilização segura da água para reutilização no contexto da gestão integrada da água. Com a implementação deste regulamento, o objetivo é garantir que a água reutilizada seja segura para a rega agrícola. Desta forma, busca-se assegurar um elevado nível de proteção do ambiente e da saúde humana e animal, promover a economia circular, apoiar a adaptação às alterações climáticas e contribuir para a consecução dos objetivos da Diretiva n.º 2000/60/CE.

Além disso, pretende-se oferecer uma resposta coordenada em toda a União Europeia aos problemas da escassez de água e às pressões sobre os recursos hídricos, bem como contribuir para o funcionamento eficiente do mercado interno.

De referir que o Regulamento (UE) n.º 2020/741 foca-se somente, na reutilização da água para o uso agrícola.

Em suma, uns dos pontos-chave para que um sistema de distribuição e armazenamento de águas residuais tratada, seja um sucesso económico, social e ambiental, é a conceção otimizada, completa e integrada de um esquema da ETAR.

6 SINGAPURA: UM CASO DE SUCESSO E INOVAÇÃO NA IMPLEMENTAÇÃO DOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ÁGUAS PARA REUTILIZAÇÃO

Singapura é uma cidade-estado insular localizada na ponta sul da Península Malaia, no Sudeste Asiático, com uma população de cerca de 5,6 milhões, a viver em uma área de 719,1 Km², o que faz de Singapura um dos locais mais densamente povoados no planeta (Embaixada de Portugal em Singapura, 2024), cuja economia assenta principalmente na indústria transformadora, nos serviços financeiros e no turismo.

Apesar de ser uma das economias mais desenvolvidas e robustas da Ásia, a estabilidade da economia de Singapura, tal como todas as outras economias ao redor do mundo, depende profundamente de um recurso escasso nesta cidade – estado: a água.

Apesar de uma precipitação média anual de cerca de 2340 mm, Singapura enfrenta dificuldades para armazenar a água da chuva devido à área limitada disponível para reservatórios e à ausência de aquíferos. Como resultado, o país depende da importação de água da Malásia e da produção de água dessalinizada (Tortajada & Bindal, 2020).

Com o objetivo de alcançar a soberania sobre os seus recursos naturais, Singapura desenvolveu em 1972, um plano diretor da água, cuja estratégia geral para aumentar o abastecimento de água focou-se no desenvolvimento de esquemas de captação de água superficial, considerando também fontes não convencionais, como a reutilização de água, a serem implementadas quando se tornassem viáveis ou necessárias.

Em 1974, o Ministério do Ambiente começou a estudar a viabilidade da utilização de água residual tratada (ART) de alta qualidade, com recurso a uma experiência-piloto para testar várias tecnologias de tratamento, incluindo a osmose inversa (OI), a permuta iónica, a eletrodialise e a remoção de amoníaco (Tortajada et al., 2013).

Embora a água cumprisse as diretrizes da OMS para a água potável, as tecnologias ainda não estavam maduras e o custo era elevado (Lee & Tan, 2016).

No final dos anos 90, a tecnologia das membranas como a osmose inversa ou a ultrafiltração, tornou-se mais fiável e eficiente em termos de custos, ou seja, mais rentável.

Posto isto, foi elaborado em 1998, um estudo denominado por *The Singapore Water Reclamation Study*, com o objetivo de determinar a adequação da utilização da ART de alta qualidade, para complementar o abastecimento de água em Singapura, através de usos potáveis indiretos planeados (PUB, 2002).

O estudo incluía três componentes principais: (1) uma instalação de tratamento demonstrativa de 10.000 m³/dia utilizando tecnologias de microfiltração (MF), OI e UV para produzir ART de alta qualidade; (2) um programa de amostragem e monitorização para avaliar a qualidade da água; e (3) um programa de testes de efeitos na saúde para determinar a segurança da ART de alta qualidade (Lee & Tan, 2016), onde esta, foi testada para efeitos tóxicos e carcinogénicos a curto e longo prazo em ratos e peixes, bem como para efeitos estrogénicos em peixes, e não foram encontrados tais efeitos (Tan et al., 2009).

O estudo foi posto em prática de 2000 a 2002, e os seus resultados foram avaliados por um painel de peritos, que concluiu que a qualidade da ART de alta qualidade, ultrapassava as Diretrizes de Qualidade da Água Potável da OMS e os Regulamentos Nacionais de Água Potável Primária da USEPA, sendo segura para uso potável (PUB, 2002).

Por fim, em 2003 o plano de tornar o abastecimento de água, em Singapura mais robusto, diversificado e sustentável, foi posto em prática, com a abertura das duas primeiras instalações de tratamento de ApR, em Bedok e Kranji, com uma capacidade total de abastecimento de 72 000 m³/dia.

Por motivos estratégicos de marketing, a água residual tratada (ART) de alta qualidade, passou a ser designada como NEWater.

A mais recente instalação de tratamento da NEWater foi construída em Changi em 2010, e tem uma capacidade de abastecimento de 227 000 m³/dia, elevando a capacidade total de abastecimento para cerca de 532 000 m³/dia, ou seja, cerca de 30% da procura total da água de Singapura.

A NEWater é transportada para os clientes e para os reservatórios através de uma rede de condutas específicas, que derivam de cada instalação de tratamento da NEWater.

Nos primeiros anos, as redes de abastecimento de ApR eram agrupadas em torno de clusters, ou seja, grupos ou aglomerações de fornecedores e indústrias em uma determinada área geográfica ou setor.

Em 2012, foi concluído um sistema de condutas em toda a ilha, ligando as quatro instalações de tratamento da NEWater, cinco reservatórios de serviço e os vários núcleos de abastecimento.

Para além de melhorar a fiabilidade do abastecimento, a integração da rede de condutas permitiu uma maior flexibilidade na gestão da oferta e da procura da NEWater, aumentando assim a resiliência do sistema da NEWater (Lee & Tan, 2016).

Com a procura de água prevista para quase duplicar até 2060, Singapura planeia aumentar o fornecimento de NEWater para satisfazer até 50% e 55% da procura total de água até 2030 e 2060, respetivamente (PUB, 2013). Grande parte deste fornecimento será direcionada para a indústria, que é um dos principais componentes do crescimento projetado da procura.

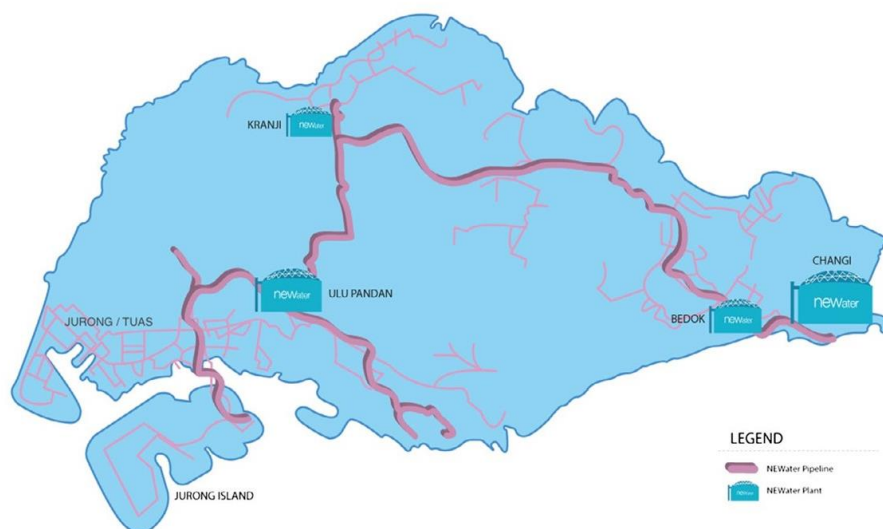


Figura 19: Mapa da infraestrutura da NEWater em Singapura
(Fonte: Lee & Tan (2016))

Para que a NEWater possa alcançar o nível de procura, a taxa de recuperação do processo de tratamento precisa de aumentar.

O processo atual de tratamento e produção da NEWater está dividido em duas fases. A primeira consiste no processo de lamas ativadas, e a segunda, específica da produção da NEWater, subdivide-se em três etapas.

A primeira etapa do processo de produção da NEWater é conhecida como microfiltração (MF) ou ultrafiltração (UF). Nesta fase, partículas microscópicas e bactérias são filtradas utilizando membranas. A segunda etapa é conhecida como o processo de osmose inversa (OI). Para isso, é utilizada uma membrana semipermeável, que possui poros muito pequenos, permitindo apenas a passagem de moléculas muito pequenas, como as moléculas de água. Isto impede que contaminantes indesejados, incluindo vírus, passem pela membrana. O processo de desinfecção por ultravioleta ou UV constitui a terceira etapa do tratamento. Este processo é capaz de eliminar bactérias e vírus e serve como uma medida de segurança adicional para garantir a pureza da NEWater (Bauer & Wagner, 2022).

Uma vez que, à medida que a escala de produção da NEWater aumenta, também cresce o impulso para melhorar a eficiência dos processos e dos custos. O biorreator de membrana (BRM), uma combinação do processo convencional de lamas ativadas com a filtração por membranas, demonstrou produzir efluente de qualidade consistentemente boa. O tratamento adicional deste efluente por osmose inversa (OI) foi testado em fase piloto com sucesso em Singapura, tendo sido constatado que produz NEWater de qualidade igual ou superior ao processo atual (Qin et al., 2006).

Este processo requer uma área menor do que o processo atual de lamas ativadas/MF/OI, uma vez que o BRM substitui os tanques de arejamento, sedimentação final e MF, tornando-o mais eficiente em termos de espaço. De acordo com estudos sobre o BRM (Dalri-Cecato et al., 2019), a maior contribuição para as despesas operacionais do sistema provém do consumo energético (46%), seguido pela substituição periódica das membranas (28%), pagamento de funcionários (14%) e disposição final de lodo (12%). Por fim, foi verificado que o sistema de BRM é competitivo para a produção de água de reutilização, visto que o seu custo operacional é consideravelmente inferior ao valor cobrado pela água potável no estado de Santa Catarina, Brasil.

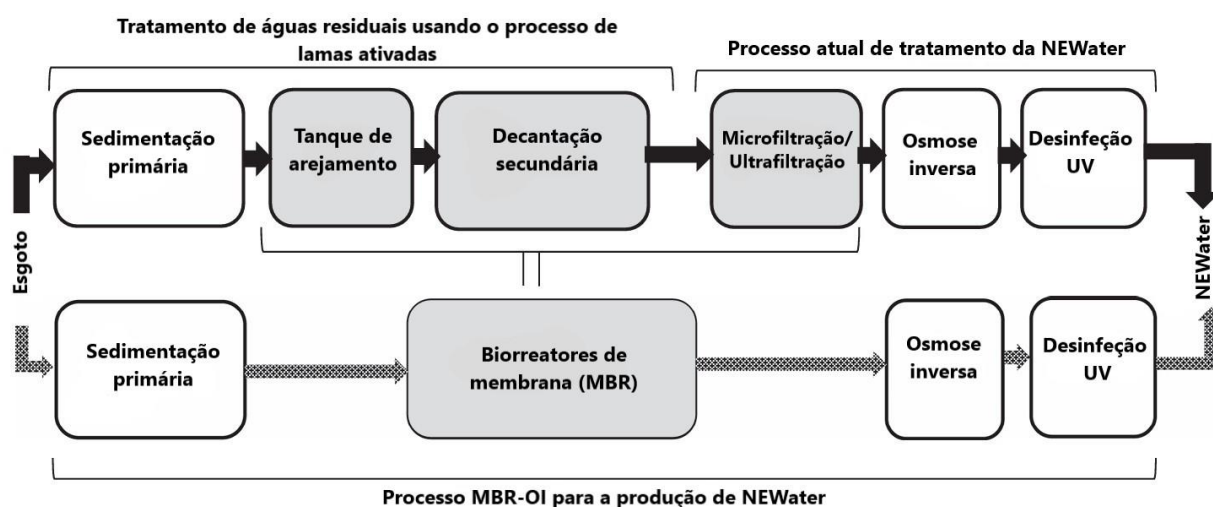


Figura 20: Comparação do processo atual de produção da NEWater com o processo de BRM
(Fonte: Lee & Tan (2016))

Para garantir que a qualidade da NEWater produzida seja adequada e segura tanto para o uso direto não potável quanto para o uso potável indireto, é adotada uma abordagem de múltiplas barreiras ou *multiple-barrier approach* (Seah et al., 2008), em conjunto com uma abordagem baseada na observação das tendências em relação ao desempenho de base do sistema (Lee & Tan, 2016).

A abordagem de múltiplas barreiras consiste num sistema integrado de procedimentos, processos e ferramentas que, em conjunto, previnem ou reduzem a contaminação da água desde a fonte até à torneira, com o objetivo de diminuir os riscos para a saúde pública, e aumentar a viabilidade e a eficácia das opções de controlo corretivo ou preventivo (Federal-Provincial-Territorial Committee on Drinking Water; et al., 2002).

A ideia central da abordagem de múltiplas barreiras é que, mesmo que uma barreira falhe, outras estarão presentes para impedir ou mitigar o problema, assegurando maior segurança e confiabilidade. Esse conceito incorpora o princípio da redundância, onde várias camadas de proteção independentes trabalham em conjunto para reduzir significativamente o risco de falhas, aumentando assim, a resiliência do sistema.

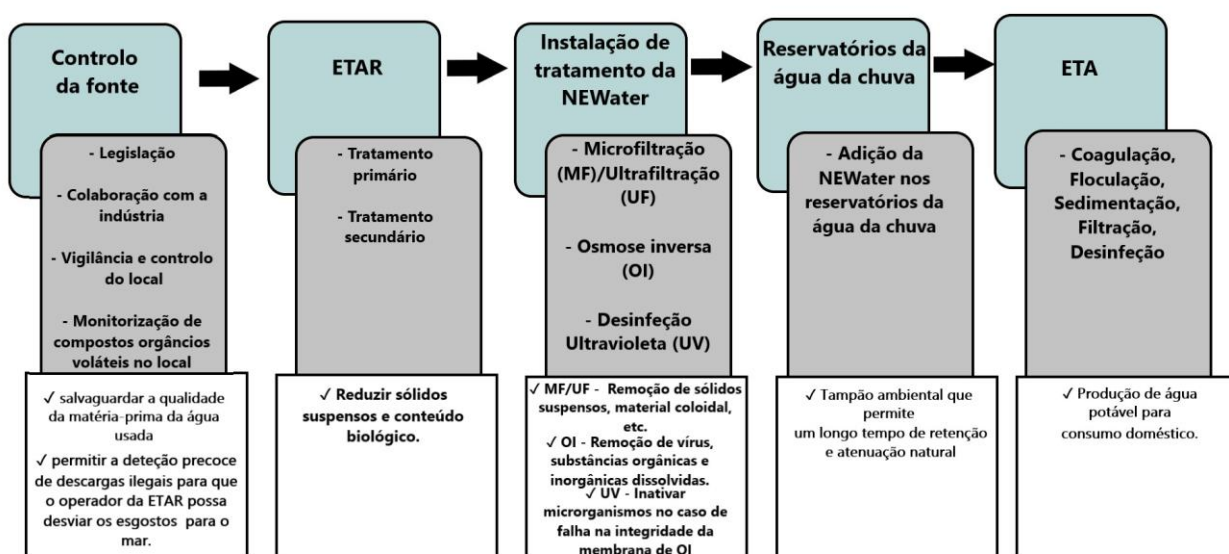


Figura 21: A abordagem de múltiplas barreiras adotada para a produção da NEWater (Fonte: Lee & Tan (2016))

Para complementar essa metodologia de gestão da qualidade da água, também são monitorados parâmetros microbianos, físicos, químicos e radiológicos ao longo do tempo, permitindo avaliar as suas evoluções e tendências em relação aos valores de referência.

Se houver desvios, estes são investigados comparando as tendências dos parâmetros relacionados e correlacionando essas tendências com eventos conhecidos, como a presença de novas indústrias na rede de esgotos ou mudanças no processo de tratamento.

Esta abordagem é aplicada com a intenção de detetar e corrigir a causa dos desvios nos valores dos parâmetros. Um exemplo disso ocorre quando há um aumento no teor de sílica (SiO_2) no permeado da membrana de OI, sem um aumento correspondente no teor de sílica na água de alimentação. Isso geralmente indica o envelhecimento das membranas de osmose inversa (OI) e serve como um alerta precoce para a substituição das mesmas.

Esta monitorização é realizada no âmbito do Programa de Amostragem e Monitorização, que abrange toda a cadeia de abastecimento da NEWater, sendo este programa periodicamente revisto e atualizado para incluir contaminantes de preocupação emergente, e os protocolos analíticos laboratoriais são melhorados, de acordo com as melhores práticas (Lee & Tan, 2016).

Embora a tecnologia tenha viabilizado a produção da NEWater, e as avaliações rigorosas sobre a sua segurança, com dados abrangentes sobre qualidade e efeitos na saúde, tenham gerado confiança nos especialistas, líderes políticos e no público em geral quanto à segurança e confiabilidade da NEWater, mesmo antes do início do fornecimento, outros fatores também contribuíram significativamente para o sucesso da implementação em larga escala dos sistemas de distribuição e armazenamento de águas reutilizadas (Lee & Tan, 2016), entre quais:

- **O forte apoio governamental e a atenção política dados à reutilização da água**

Para permanecer independente e desenvolver uma economia robusta, Singapura precisava se tornar autossuficiente em termos de água, e para que isso ocorresse foi necessário um investimento legislativo e económico, por parte do estado.

- **Projetos de referência credíveis**

Quando a NEWater foi implementada em 2003, em Singapura, a reutilização da água já era praticada há algumas décadas nos Estados Unidos, em cidades como Irvine Ranch, esta situa-se no sul da Califórnia, e é a maior cidade satélite planeada de forma privada alguma vez construída nos EUA (Forsyth, 2002). Localizada em uma região semiárida, a cidade tem buscado assegurar o uso responsável da água. O primeiro passo foi dado em 1967, com a inauguração da Estação de Reaproveitamento de Água Michelson e a implementação de um sistema de abastecimento duplo.

Esse sistema é composto por um conjunto de tubulações que distribui água potável para consumo em residências e empresas, enquanto outro transporta água tratada e reciclada para irrigação de grandes áreas ajardinadas, incluindo parques, campos de golfe, zonas verdes comunitárias, ilhas centrais de estradas. Além disso, a água recuperada é utilizada para a descarga de autoclismos, principalmente em edifícios comerciais e residenciais, bem como em torres de arrefecimento (Irvine Company, n.d.).

O sucesso de Irvine Ranch deveu-se também a várias técnicas empreendidas como a utilização de paisagismos mais resistente à seca, a implementação de controladores de irrigação inteligente e sensores de fluxo para detetar eventuais fugas, e por fim, a utilização de dispositivos de economia de água, como chuveiros e sanitários de baixo fluxo.

Todo este sucesso foi crucial para ganhar a confiança do público em Singapura, e por fim para o desenvolvimento e implementação da NEWater, inclusive dois engenheiros da PUB (Agência Nacional da Água de Singapura), e do Ministério do Ambiente fizeram uma viagem aos EUA, para estudar estes e outros projetos, antes de se tomar a decisão de desenvolver a NEWater. Uma mensagem chave na comunicação pública em torno do NEWater foi que a recuperação de água não era nova e havia sido praticada com sucesso em outros países, como os Estados Unidos, durante mais de duas décadas (Tan et al., 2009).

- **Demonstração de tecnologia no ambiente local**

Foi necessário testar a tecnologia no ambiente de Singapura, para considerar as diferenças no clima, na natureza da água utilizada, nos padrões de fluxo, etc.

A instalação de tratamento demonstrativa serviu como um campo de treino para formar uma equipa de engenheiros competentes e proporcionou amplas oportunidades para otimizar considerações de design e resolver desafios operacionais (Lee & Tan, 2016).

- **Apoio de um painel de especialistas**

A formação de um painel de especialistas, composto por profissionais locais e estrangeiros de áreas como engenharia, microbiologia, toxicologia, ciências biomédicas, química e tecnologia da água, para aconselhar a PUB e o Ministério do Ambiente sobre o *The Singapore Water Reclamation Study* e revisar os seus resultados, conferiu objetividade e credibilidade às conclusões e recomendações (Lee & Tan, 2016).

- **Envolvimento eficaz do público e dos clientes**

Apesar da rigorosa abordagem técnica envolvida no desenvolvimento da NEWater, era necessário convencer os singapurenses de que era seguro utilizar, pois as reações de relutância à ideia de reutilização de água foram destacadas na literatura como uma parte integral da resistência pública à reutilização de água, e como certas pesquisas concluíram que o desconforto emocional com a ideia de beber água reciclada era menor para pessoas que já tinham ouvido falar de reciclagem de água anteriormente (Wester et al., 2015), foi necessário implementar um extenso plano de comunicação pública, sendo que atualmente a educação pública ainda continua nas escolas, em eventos comunitários e no Centro de Visitantes da NEWater.

A mensagem transmitida ao público permanece consistente: a reutilização potável da água não é um conceito novo e tem sido praticada com sucesso em todo o mundo; o processo de tratamento com múltiplas barreiras é seguro e fiável, e os usos potáveis indiretos fornecem uma proteção ambiental adicional; a NEWater é uma fonte sustentável de água para Singapura (Lee & Tan, 2016).

Também na União Europeia, já estão a ser dados passos nessa direção com o Regulamento (UE) n.º 2020/741, que estabelece a importância de os Estados-Membros assegurarem ao público o acesso a informações exaustivas, atualizadas e claras, além de promoverem campanhas de sensibilização e informação adaptadas à escala da reutilização da água.

- **Envolvimento da comunicação social**

Como a comunicação social foi fundamental para transmitir os detalhes da NEWater ao público, a sua compreensão do assunto era importante.

Em 2002, foi organizada uma viagem de estudo para jornalistas visitarem projetos de reutilização de água no estrangeiro (Tan et al., 2009). Os resultados do painel de especialistas foram divulgados, e foi realizada uma conferência de imprensa com os especialistas para ajudar os jornalistas a esclarecerem a sua compreensão dos detalhes.

Foram também realizadas visitas à instalação de tratamento demonstrativa para que pudessem observar o processo de tratamento em primeira mão (Lee & Tan, 2016).

- **Envolvimento da comunidade**

Os membros do Parlamento e os líderes comunitários foram informados e, com o auxílio de exposições, cartazes, brochuras e anúncios, repassaram a mensagem à comunidade.

É fundamental que a mensagem seja transmitida de forma clara, pois, na Austrália, o foco nos altos custos, o ceticismo em relação à tecnologia na media e nos discursos públicos, aliado a mensagens ambíguas de autoridades, resultou no fracasso de um plano de reutilização da água (Tortajada & Nambiar, 2019).

- **Mudança de terminologia**

NEWater foi o nome escolhido cuidadosamente para a ART, com o objetivo de enfatizar a sua natureza ultra-limpa. Para reforçar ainda mais a ideia de que a NEWater era reciclada a partir de água usada, podendo ser reutilizada repetidamente, de maneira semelhante ao ciclo natural da água, as estações de tratamento de águas residuais foram renomeadas para “estações de recuperação de água” (*water reclamation plants*), e o termo “esgoto” ou “águas residuais” foi substituído por “água usada” (Lee & Tan, 2016).

- **Centro de Visitantes da NEWater**

Inaugurado em 2003, o Centro de Visitantes permite aos visitantes observar o processo de tratamento na instalação de tratamento da NEWater, em Bedok, a partir de uma galeria e compreender a ciência por trás dela através de exibições interativas, visitas guiadas e workshops. Este centro continua a ser fundamental para colmatar a lacuna entre as considerações técnicas e a percepção pública (Lee & Tan, 2016).

- **Envolvimento direcionado para a indústria de fabrico de *wafers***

As fábricas de *wafers* (material semicondutor, usado na eletrónica) foram adotantes precoces da NEWater, mas isso só foi possível graças a uma colaboração estreita com a PUB.

Devido à sua alta pureza, com baixo teor de compostos orgânicos e minerais, a NEWater era uma boa opção para o processo de produção de água ultrapura (AUP) nas fábricas de *wafers*, mas a sua utilização era sem precedentes. Para provar a sua adequação, a PUB, em consulta com as fábricas, construiu uma instalação de tratamento piloto de AUP para confirmar e garantir às fábricas de *wafers* que a AUP produzida a partir de NEWater atendia às suas especificações.

Após começarem a utilizar a NEWater, a PUB manteve uma comunicação próxima com os operadores das fábricas de *wafers*, fornecendo atualizações diárias sobre o nível de água disponível e a qualidade da água, e respondendo às suas preocupações prontamente.

Com o tempo, os benefícios de custo associados ao uso da NEWater tornaram-se evidentes. Foram necessários menos passos de tratamento para alcançar a qualidade de água ultrapura (AUP) quando a NEWater era utilizada como matéria-prima, em comparação com o uso da água potável da PUB (Lee & Tan, 2016).

De acordo com Tan et al. (2009), as fábricas de *wafers* economizaram cerca de 20% nos custos com produtos químicos para a produção de AUP. A implementação bem-sucedida da NEWater na produção de AUP também melhorou a percepção pública da NEWater.

- **Gestão integrada do ciclo da água**

A NEWater fechou o ciclo da água, eliminando a clara separação entre o abastecimento de água e o tratamento de água usada. Assim, fez sentido que a PUB fosse reconstituída em 2001 para assumir as funções de gestão da água usada e drenagem do Ministério do Ambiente (Tan et al., 2009). Ter uma única agência a gerir todos os aspetos do ciclo da água de uma forma integrada facilitou a implementação e expansão suave do sistema de abastecimento da NEWater (Lee & Tan, 2016).

Por fim, com os recursos hídricos superficiais quase maximizados atualmente, a reutilização da água constitui uma componente crítica da estratégia de Singapura para a sustentabilidade da água, uma vez que contorna a limitação da escassez de terrenos para a captação e armazenamento de água e reduz a suscetibilidade a variações nos padrões de precipitação.

Como resultado, Singapura tem sido capaz de suportar um maior crescimento populacional e económico (Lee & Tan, 2016), e o seu sucesso poderá inspirar muitos outros países, a implementarem sistemas de distribuição e armazenamento de águas para reutilização.

Em suma, um fornecimento seguro, abundante e fiável de água, apoiado por um compromisso agressivo com a reciclagem por todos os meios disponíveis, é essencial para o crescimento e a prosperidade futura em áreas com necessidades hídricas críticas (Irvine Company, n.d.).

7 GESTÃO: CONCEITO, DEFINIÇÕES E A UTILIDADE DE GERIR

O conceito de gestão é abstrato, pelo qual na bibliografia do tema são encontrados várias definições, entre as quais:

- A gestão é definida como o conjunto de atividades coordenadas para dirigir e controlar uma organização (International Organization for Standardization, 2015).
- A gestão é o conjunto de atividades e processos organizados com o objetivo de atingir metas predefinidas, utilizando de forma eficiente os recursos disponíveis (Instituto Português da Qualidade, 2004).
- A gestão é um processo de planeamento, organização, direção e controlo para determinar e alcançar os objetivos de forma eficiente e eficaz, através da utilização de pessoas e recursos (Terry, 1968).
- A gestão é o processo pelo qual os gestores criam, dirigem, mantêm e operam organizações com um propósito, através de um esforço humano sistemático, coordenado e cooperativo (McFarland, 1979).

Nos sistemas de abastecimento de água, tal como acontecerá com o sistema de distribuição e armazenamento de águas para reutilização (SDAApR), o papel de gestão é atribuído a uma entidade gestora (EG), esta será responsável pela operação, manutenção e monitorização dos processos, garantindo a eficiência e a sustentabilidade dos recursos utilizados.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 152-D/2017, a entidade gestora (EG) é uma pessoa coletiva de direito privado, de natureza associativa ou societária, e que tem como finalidade principal, a garantia do abastecimento em condições normais e de emergência, em quantidade e com qualidade para consumo humano, mas também tem outros objetivos como a proteção da saúde pública, a satisfação das necessidades e expectativas dos utilizadores, a sustentabilidade da EG, a promoção do desenvolvimento sustentável da comunidade e por fim, a proteção do meio ambiente (International Organization for Standardization, 2007).

Para cada objetivo estratégico, a entidade gestora deverá definir critérios de avaliação, medidas de desempenho e metas, de modo que seja possível a avaliação concreta do cumprimento do mesmo (Alegre & Covas, 2010).

Nesta medida, os municípios e o Estado, na prossecução das suas atribuições, são as entidades titulares relativamente aos serviços de que são responsáveis. No âmbito desta atribuição cabe aos municípios e ao Estado determinar quem presta o serviço, podendo ser os próprios ou uma entidade terceira em função do modelo de gestão adotado. Os municípios têm ainda a opção de gerir os respetivos serviços isoladamente ou associados entre si. Por fim, a entidade gestora corresponde à entidade que seja designada, nos termos legais, pela entidade titular como responsável pela prestação dos serviços (Mesquita et al., 2012).

Os modelos de gestão, que poderão ser adotados pelas entidades titulares, são os seguintes:

- **Gestão direta** – Neste modelo de gestão existe coincidência entre a entidade titular e a entidade gestora (Mesquita et al., 2012).

A gestão direta dos sistemas de titularidade municipal pode ser realizada através dos respetivos serviços municipais, municipalizados ou intermunicipalizados, aos quais são aplicáveis as regras gerais do regime jurídico das autarquias locais.

A diferença entre os serviços municipais e municipalizados consiste no grau de autonomia administrativa e financeira (maior no segundo caso, com orçamento próprio e organização autónoma), embora ambos estejam integrados no município, com tarifas fixadas pelos respetivos órgãos (ERSAR, 2024).

Os serviços intermunicipalizados, por sua vez, envolvem a cooperação entre vários municípios para gerir em conjunto as infraestruturas do abastecimento de água.

Em suma, a gestão direta, é uma abordagem onde a entidade titular assume toda a responsabilidade pelo fornecimento de água aos cidadãos, sem recorrer à terceirização ou à participação de empresas privadas.

- **Gestão delegada** – Este modelo de gestão pressupõe a celebração de um contrato entre o município/estado e a empresa que defina os objetivos e a política de preços a seguir pela própria. Os municípios podem ainda constituir parcerias público-privadas institucionais, selecionando, através de procedimentos de contratação pública, parceiros privados para o capital das empresas sob forma comercial (mantendo, naturalmente, a influência dominante pública). Os contratos de gestão delegada a celebrar entre os municípios e as empresas devem definir objetivos, iniciativas, investimentos e tarifário a seguir por estas, sendo os mesmos sujeitos a revisões de cinco em cinco anos.

Em Portugal, por razões históricas, existe um modelo de gestão delegada de titularidade estatal, a EPAL.

O Decreto-Lei n.º 90/2009, de 9 de abril, institucionalizou a possibilidade de os municípios estabelecerem parcerias com o Estado para a gestão de serviços de titularidade municipal.

A parceria materializa-se na celebração de um contrato de parceria entre o Estado e os municípios, seguido de um contrato de gestão entre aqueles e a entidade gestora do sistema, a qual pode ser uma empresa do setor empresarial local ou estatal (ERSAR, 2024).

Em síntese, a entidade gestora é responsável pela operação e manutenção dos serviços, mas a entidade titular continua a ser o titular do serviço, ou seja, mantém a propriedade das infraestruturas e a autoridade sobre as decisões estratégicas.

- **Gestão concessionada** - As concessões de serviços de titularidade estatal designam-se concessões multimunicipais, cujos contratos apenas podem ser celebrados com empresas de capitais maioritariamente públicos (por força das restrições impostas pela lei de delimitação de setores, a Lei n.º 88-A/97, de 25 de julho). Embora a lei admita a participação minoritária de capitais privados, até à data esta possibilidade não tem sido utilizada. Neste caso, a concessão pode ter um prazo de duração até 50 anos.

Já as concessões de serviços de titularidade municipal são atribuídas a empresas de capital privado no âmbito de procedimentos de contratação pública, regulados pelo Código dos Contratos Públicos, complementado com disposições do Decreto-Lei n.º 194/2009, sendo o prazo máximo de concessão de 30 anos (Mesquita et al., 2012).

Em suma, a gestão concessionada é uma abordagem em que as entidades titulares, delegam a responsabilidade de gerir e operar um serviço público, como o abastecimento de água, para uma empresa privada ou pública. Isso ocorre por meio de um contrato de concessão, por um período determinado.

Durante esse período, a empresa concessionária assume não apenas a operação diária do serviço, mas também a responsabilidade pelos investimentos em infraestrutura, manutenção e melhorias.

Em troca, a concessionária é remunerada, geralmente por meio da cobrança de tarifas dos usuários do serviço, sendo que no final do período de concessão, a gestão e a operação podem retornar ao poder público ou serem relicitadas.

Portanto, a concessão envolve a transferência de responsabilidades operacionais e financeiras à empresa, que assume riscos e obtém lucro a partir da prestação eficiente do serviço

Apesar de perder o controle direto, a entidade pode estabelecer um contrato bem detalhado e criar mecanismos de fiscalização e auditoria para garantir que a concessionária cumpra as suas obrigações de forma eficiente e ética.

- **Gestão verticalizada** – este modelo de gestão consiste, no facto de um particular ou uma entidade coletiva controlar diretamente todas ou a maior parte das etapas do seu processo produtivo, desde a obtenção de matérias-primas até a entrega do produto ou serviço final ao consumidor.

Esse modelo é amplamente adotado em sistemas descentralizados de reutilização de águas residuais, onde a produção e o uso de ApR ficam restritos ao próprio gestor do sistema. Em nenhuma circunstância essas águas podem ser cedidas a terceiros.

De forma a não esvaziar as competências municipais, definiu-se que a intervenção do Estado, em regra, se limita às atividades grossistas, também designadas em alta, mantendo-se os municípios responsáveis pelas atividades retalhistas ou “em baixa”, ou seja, pela prestação do serviço aos utilizadores finais (Mesquita et al., 2012).

No abastecimento de água, as atividades grossistas estão relacionadas com as componentes relativas à captação, tratamento e adução incluindo elevação e eventual armazenamento.

Já nos sistemas de drenagens, essa atividade refere-se às componentes relativas ao transporte por interceptador e/ou emissário incluindo elevação, tratamento e descarga de águas residuais e tratamento de lamas (APA et al., 2015).

Por fim, nos sistemas centralizados de reutilização de ART, as atividades grossistas relacionam-se com as componentes relativas ao tratamento de águas para reutilização, e adução incluindo elevação e eventual armazenamento;

As atividades retalhistas, no sistema de abastecimento de água são referentes às redes de distribuição de água, ramais de ligação e eventualmente armazenamento a montante da rede.

Enquanto, que no sistema de drenagem estão relacionadas com as redes de coletores de água residuais, com os ramais de ligação correspondentes, e as estações elevatórias inerentes a estas redes.

Por último, as atividades retalhistas, nos sistemas centralizados de reutilização de ART são referentes às componentes relativas às redes de distribuição de ApR, ramais de ligação e eventualmente armazenamento a montante da rede.

Posto isto, sugere-se na tabela 3, os modelos de gestão a adotar e as respetivas entidades titulares e gestoras, nos sistemas descentralizados e centralizados de ApR.

	Entidade titular	Modelo de gestão	Entidade gestora
Sistemas de abastecimento de água	Estado	Gestão Direta	Estado
		Gestão Delegada	Empresa do setor empresarial do Estado
		Gestão Concessionada	Empresa de capitais maioritariamente públicos (do Estado ou dos municípios)
	Municípios	Gestão Direta	Serviços municipais ou municipalizados Associações de municípios (serviços intermunicipalizados)
		Gestão Delegada	Empresa do setor empresarial local
			Empresa de capitais estatais e municipais, criada no âmbito de uma parceria entre os municípios e o Estado
		Gestão Concessionada	Empresa Privada
Sistemas descentralizados de reutilização de ART	Entidade particular ou coletiva	Gestão verticalizada	Entidade particular ou coletiva
Sistemas centralizados de reutilização de ART	Estado	Gestão Concessionada	Empresa Privada
	Municípios	Gestão Concessionada	Empresa Privada

Tabela 3: Entidades titulares, Modelos de gestão e Entidades gestoras
(Fonte: Adaptada de Mesquita et al. (2012))

Em Portugal, os sistemas centralizados de reutilização de água residual tratada devem adotar o modelo de gestão concessionada. Isso ocorre porque esses sistemas exigem altos investimentos para a sua implementação e manutenção, o que, muitas vezes, não é viável quando o Estado é o responsável, devido às limitações orçamentárias para esse tipo de investimento.

Dado que esses sistemas ainda estão em desenvolvimento, e existe um certo desconhecimento sobre eles no país, os municípios que necessitam implementá-los devem optar pela gestão concessionada para garantir o sucesso. Esse modelo permite que uma empresa privada assuma a operação e os investimentos, minimizando os riscos para o município/estado e contribuindo para a transformação do cenário nacional.

Num futuro em que o sucesso do uso de ApR seja alcançado, poderá surgir a possibilidade de se adotar a gestão direta, uma vez que a segurança e resiliência destes sistemas estarão consolidadas e demonstradas, portanto os municípios/estado já não terão receio em investir neste tipo de projetos.

Vale destacar que, em Singapura, o modelo de gestão adotado é o da gestão direta, uma vez que é uma agência governamental, a PUB, que desempenha o papel de entidade gestora. Esse modelo só foi e é eficaz, nesse caso, devido ao facto de Singapura ser uma cidade-Estado.

De acordo com a International Organization for Standardization (2007), as entidades gestoras de um sistema de abastecimento de água/ApR tem como principais componentes de gestão, as seguintes:

- Gestão de atividades e de processos;
- Gestão de recursos;
- Gestão patrimonial de infraestruturas;
- Gestão de informação;
- Gestão ambiental;
- Gestão do risco;

7.1 Gestão patrimonial de infraestruturas hidráulicas

As infraestruturas hidráulicas constituem uma parcela muito relevante do património de utilidade pública construído, com elevado valor económico, sendo por isso, essencial, uma gestão sustentável que garanta, a longo prazo, um serviço de alta qualidade, e promova o desenvolvimento das comunidades e a proteção do meio ambiente.

A gestão patrimonial de infraestruturas hidráulicas é uma abordagem de toda a organização que procura equilibrar as dimensões de desempenho, risco e custo numa perspetiva de longo prazo, exigindo uma intervenção coordenada entre os diferentes níveis de planeamento (estratégico, tático e operacional).

Também pode ser considerada como uma abordagem multidisciplinar, sendo as principais competências envolvidas, a gestão (incluindo economia e sociologia das organizações), a engenharia (e.g., civil, ambiental, mecânica) e a informação (e.g., gestão da informação, comunicação, informática) (Alegre & Covas, 2010).

A importância da gestão patrimonial de infraestruturas (GPI) foi inclusivamente reconhecida na legislação do sector, nomeadamente no Decreto-Lei n.º 90/2009, de 20 de Agosto, que determina que as entidades gestoras dos serviços devem dispor de informação sobre a situação atual e projetada das infraestruturas, a sua caracterização e a avaliação do seu estado funcional e de conservação, sendo que as entidades gestoras que sirvam mais de 30 mil habitantes devem ainda promover e manter um sistema de gestão patrimonial de infraestruturas (ERSAR & LNEC, 2017).

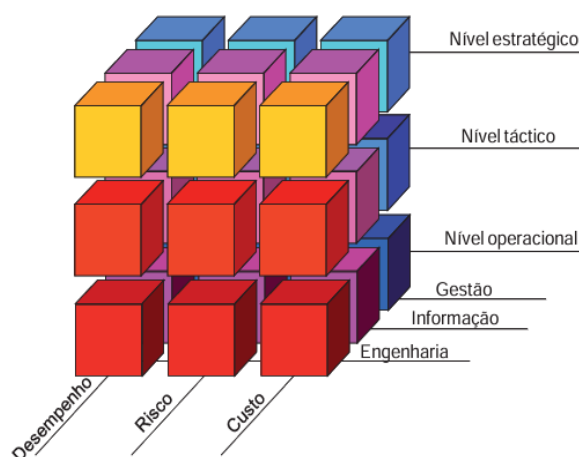


Figura 22: Gestão patrimonial de infraestruturas: uma visão integrada
(Fonte: Alegre & Covas (2010))

Se o objetivo das entidades gestoras for aumentar os níveis de cobertura de serviço, como é o caso dos sistemas de abastecimento de ApR, então a gestão patrimonial deverá consistir no planeamento, conceção e construção de novos sistemas.

Já, se os sistemas se encontrarem construídos e em operação, como é o caso dos sistemas de abastecimento de água, a manutenção e reabilitação dos sistemas, deverá ser a prioridade da gestão, com enfoque em melhorar o desempenho dos sistemas existentes.

Dado os avultados investimentos exigidos no setor e a crescente escassez de recursos financeiros, especialmente sem garantias de novos financiamentos comunitários, torna-se crucial fundamentar de forma sólida as decisões sobre "quanto", "onde", "quando" e "como" reabilitar ou construir as redes de infraestruturas. Essas decisões devem ser pautadas por critérios técnicos, operacionais e socioeconómicos, de forma a maximizar o aproveitamento das infraestruturas existentes, garantindo a sustentabilidade económica e financeira dos serviços a médio e longo prazo.

A complexidade dessas decisões é agravada pelo facto de as infraestruturas serem subterrâneas, o que impede uma inspeção direta, por isso, é necessário recorrer a métodos de diagnóstico e apoio à decisão indiretos. Acresce dificuldade à decisão, o facto de estas infraestruturas sustentarem serviços assumidos como evidentes nas sociedades industrializadas, tendo por isso muitas vezes pouca visibilidade social e sendo subvalorizadas pelos decisores.

Para que a gestão patrimonial de infraestruturas tenha sucesso, é fundamental que a mudança de uma atitude reativa, de reparação após avaria, para uma cultura de prevenção na gestão das infra-estruturas, seja assumida pela administração da entidade gestora, pois só com abordagens inovadoras, científica e tecnicamente robustas, será possível evoluir no sentido de melhorar a qualidade do serviço prestado aos utilizadores, garantindo a sustentabilidade infraestrutural, operacional, económico -financeira e ambiental das entidades gestoras portuguesas (Alegre & Covas, 2010).

O planeamento da GPI deverá ser estruturado em três níveis e ser parte integrante do planeamento global da organização. Numa abordagem de GPI, estes níveis de planeamento são indispensáveis para garantir a coerência de todo o processo e o alinhamento entre objetivos da organização e os resultados obtidos (Alegre & Covas, 2010).

A atividade das entidades gestoras de abastecimento de ApR deverá ser planeada a vários níveis (Vanier, 2000):

- a um nível estratégico, de longo prazo, que estabelece os objetivos estratégicos e respetivas metas, mas não as vias para atingir os resultados pretendidos;
- a um nível tático, intermédio, que estabelece as vias para atingir os resultados pretendidos, ou seja, as táticas a adotar para que os objetivos estratégicos sejam atingidos;
- a um nível operacional, que estabelece e programa as ações a desenvolver a curto prazo;

Níveis	Estratégico	Tático	Operacional
Responsável	Administrador da infra-estrutura	Gestor da infra-estrutura	Chefe da operação da infra-estrutura
Finalidade	Definir o rumo da organização no que diz respeito às infra-estruturas	Definir o que fazer e com que prioridade	Definir como fazer
Resultados	Estratégias	Táticas	Programa de acções
Horizonte temporal	Longo prazo (10 a 20 anos)	Médio prazo (3 a 5 anos)	Curto prazo (1 a 2 anos)

Tabela 4: Níveis de planeamento
(Fonte: Alegre & Covas (2010))

7.1.1 Planeamento estratégico

O principal objetivo do planeamento estratégico é sustentar, fortalecer e conferir coerência ao processo de tomada de decisões de gestão, identificando e abordando os fatores-chave, internos e externos, que afetam a atividade (Carvalho & Filipe, 2006). O planeamento estratégico, promovido pela administração da organização, estabelece a visão, a missão e as políticas de longo prazo da organização (com um horizonte temporal entre 10 e 20 anos), de modo a traduzir os requisitos estratégicos (ERSAR & LNEC, 2017).

O plano estratégico de GPI é um instrumento de planeamento que, de forma organizada, estabelece as diretrizes de uma entidade gestora para a gestão patrimonial estratégica das infraestruturas dos sistemas urbanos de água (ERSAR & LNEC, 2017). Esses planos são de âmbito global, abrangendo toda a organização e a área geográfica servida, e são implementados com o objetivo de melhorar o desempenho da organização, servindo como base para as ações de gestão subsequentes, incluindo o planeamento tático e operacional. O plano estratégico também permite que a organização adapte a sua atividade à evolução das necessidades da sociedade e do ambiente (Alegre & Covas, 2010).

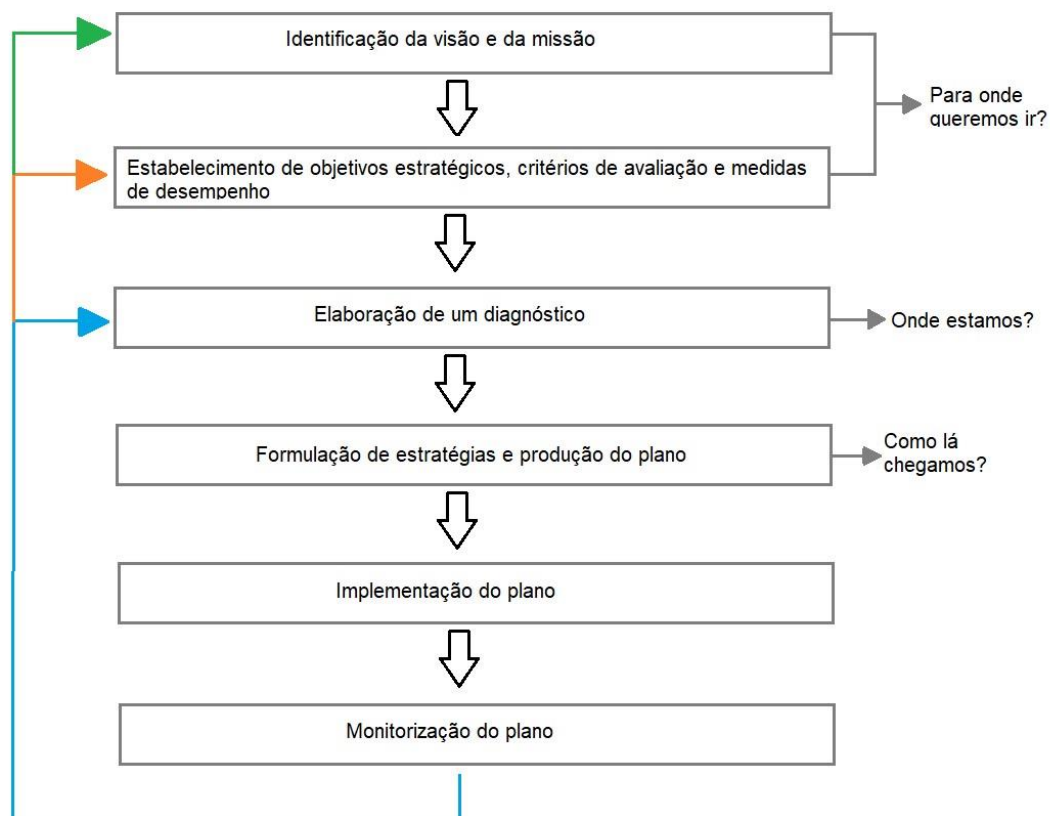


Figura 23: Fases do processo de elaboração de um plano estratégico
(Fonte: Adaptada de Alegre & Covas (2010))

Em cada organização é elaborado um único plano estratégico diferenciado, que estabelece objetivos e metas de longo prazo. Estas metas deverão contemplar a especificação dos níveis de serviço a atingir.

O plano estratégico de GPI deve ser sintético e conter a informação necessária e suficiente tanto para apoiar a tomada de decisão (“Onde estamos?”) como a que daí resulta (“Como lá chegamos?”), para que constitua um instrumento eficaz de gestão e de comunicação. O plano deverá também incluir uma caracterização sucinta da entidade gestora, além de informações sobre eventuais certificações obtidas pela EG (ERSAR & LNEC, 2017).

As estratégias do plano devem ser definidas com precisão e rigor, para responder aos desafios identificados no diagnóstico da situação de referência e conduzir ao êxito da entidade gestora.

Para que o planeamento estratégico seja bem-sucedido, é essencial que o processo seja conduzido por uma equipa multidisciplinar, que inclua as valências dos serviços-chave da organização e seja coordenado por um membro da administração (em geral, o presidente). Sem o compromisso e o envolvimento de toda a estrutura organizacional desde o início do processo, o planeamento estratégico dificilmente terá viabilidade para uma implementação efetiva (Alegre & Covas, 2010).

7.1.2 Planeamento tático

O objetivo do planeamento tático é materializar as estratégias estabelecidas no planeamento estratégico, definindo a forma de as implementar sectorialmente (Alegre & Covas, 2010).

Esta fase é, geralmente, realizada pelos gestores das infraestruturas, com base num diagnóstico atualizado e fundamentado, assim como na análise comparativa e na seleção das melhores soluções alternativas, face aos objetivos e aos problemas detetados. O nível tático define o caminho a seguir a médio prazo, geralmente entre 3 e 5 anos, estabelecendo as prioridades de intervenção e as soluções a adotar.

De acordo com a ERSAR & LNEC (2017), o plano tático é um instrumento de gestão fundamental para estabelecer a ligação e assegurar uma coerência entre as estratégias globais da organização e a atividade de rotina, ao nível operacional.

O plano tático de GPI deve ser sintético e conter a informação necessária e suficiente tanto para apoiar a tomada de decisão (“Onde estamos?”), como para guiar as ações resultantes (“Como lá chegamos?”), constituindo assim um instrumento eficaz de gestão e comunicação. Nele, estabelecem-se de forma sistemática as atividades, os períodos de implementação das soluções, as prioridades da implementação de ações e o faseamento da sua aplicação, tanto geográfica quanto temporalmente.

Um plano tático de GPI é de âmbito setorial, abrangendo um tipo específico de sistema e apresenta, em geral, um horizonte temporal de médio prazo. Como referido anteriormente, no planeamento de GPI em serviços urbanos de água, é fundamental considerar que a infraestrutura, para prestar o serviço continuamente, tem que funcionar como um sistema e não se resume à soma de componentes individuais.

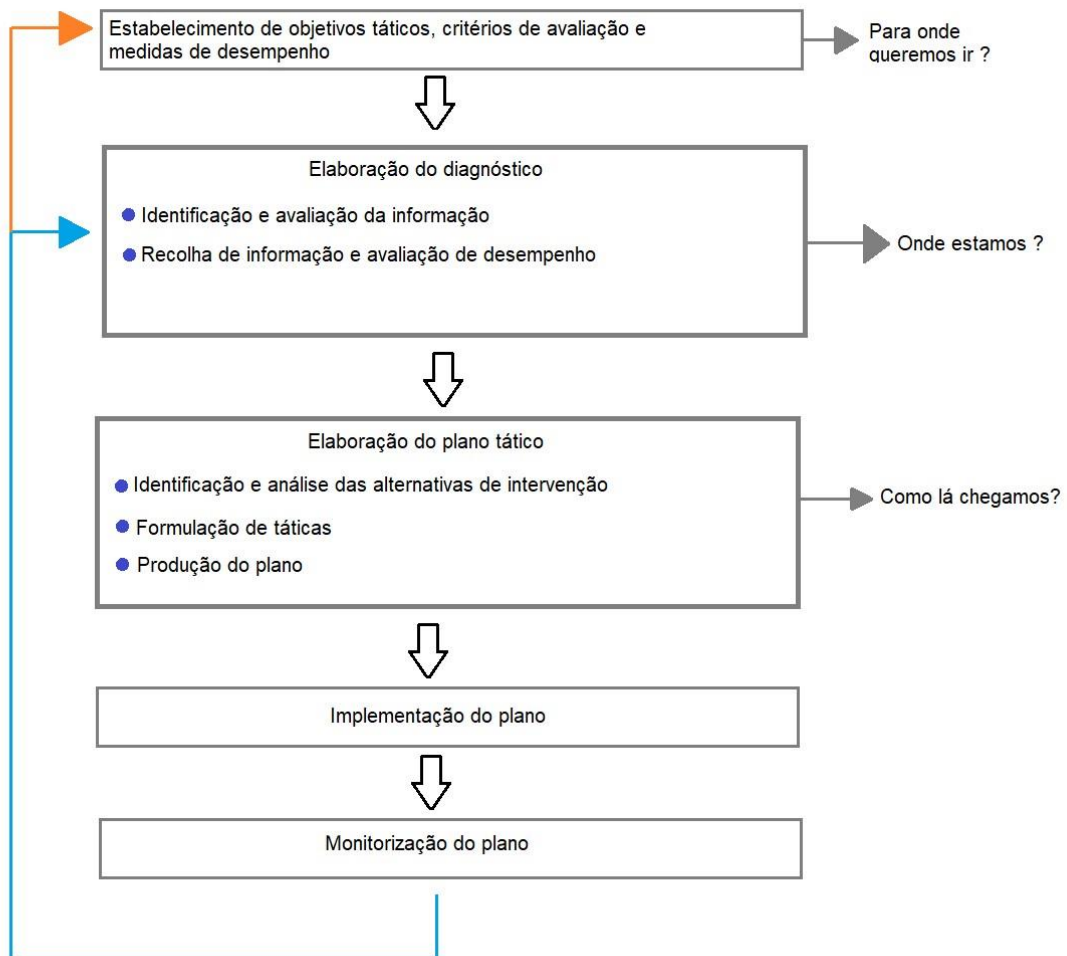


Figura 24: Fases do processo de elaboração de um plano tático
(Fonte: Adaptada de Alegre & Covas (2010))

Com base no diagnóstico efetuado, devem ser definidas táticas que permitam lidar com os problemas identificados, sempre alinhadas com os objetivos táticos previamente estabelecidos. Essas táticas são delineadas tanto ao nível do sistema global quanto das áreas de análise, considerando o horizonte de planeamento, e podem ser de natureza não infraestrutural, de operação e manutenção, ou infraestrutural.

O documento do plano tático de GPI deve apresentar o conjunto completo de táticas de modo sintético, numa forma que facilite a perceção global das intervenções definidas para o sistema explorado pela entidade gestora.

A elaboração do plano resulta na redação de um documento sintético e claro que contenha as estratégias condicionantes da GPI, o âmbito geográfico, temporal e temático; os objetivos táticos, os critérios, as métricas, os valores de referência e as metas a atingir; o diagnóstico resultante da avaliação da situação atual ou de referência; as táticas; os mecanismos de monitorização, e por fim a avaliação e revisão do plano (ERSAR & LNEC, 2017).

Para assegurar que o plano tático, geralmente desenvolvido pelos gestores dos sistemas, é um instrumento de implementação do plano estratégico, deve ser aprovado pelo topo da administração.

Tal como no caso do plano estratégico, é indispensável que o processo de elaboração de um plano tático seja iniciado com a constituição de uma equipa multidisciplinar, responsável não só pela elaboração do plano como também pelo envolvimento efetivo de toda a organização (Alegre & Covas, 2010).

7.1.3 Planeamento Operacional

O planeamento operacional tem como finalidade especificar, programar e implementar, na organização e na infraestrutura existente, as ações definidas nos planos táticos, englobando tanto intervenções infraestruturais relativas à expansão e reabilitação dos sistemas, como procedimentos de operação e manutenção, além da operacionalização de outras táticas não infraestruturais.

O plano operacional é um instrumento de gestão que estabelece a ligação e assegura a coerência entre as táticas planeadas e as atividades de rotina ao nível operacional. Também define as ações de curto prazo a serem implementadas por cada unidade operativa, especificando os locais exatos de intervenção, a cronologia das ações, assim como as tecnologias e os recursos humanos e materiais a utilizar (ERSAR & LNEC, 2017).

Na generalidade, de acordo com Alegre & Covas (2010), os planos operacionais apresentam um horizonte temporal de um ano.

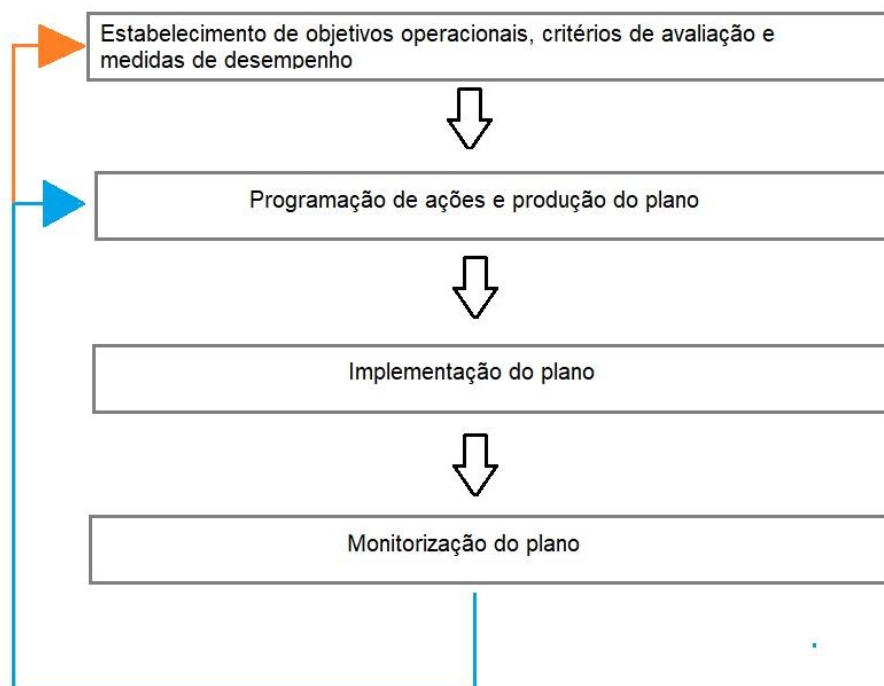


Figura 25: Fases do processo de elaboração de um plano operacional
(Fonte: Adaptado de Alegre & Covas (2010))

A elaboração do plano operacional inicia-se com o estabelecimento dos objetivos operacionais, estes devem estar alinhados com os objetivos táticos e as táticas definidas, assegurando que contribuem para o seu cumprimento.

Para cada objetivo, a entidade gestora deve definir critérios de avaliação que permitam uma avaliação concreta do respetivo nível de cumprimento.

Os critérios deverão ser estabelecidos com vista à finalização da obra (ou de fase da obra), cumprimento dos requisitos de qualidade de execução da ação, cumprimento de prazos ou cumprimento do orçamento previsto.

Estes critérios são quantificados através de métricas/medidas de desempenho, que devem ser selecionadas e definidas com parcimónia, de modo a permitir uma avaliação concreta, sendo essenciais que sejam complementares entre si e não sobreponham informação (ERSAR & LNEC, 2017).

As métricas podem ser expressas em termos de percentagem de cumprimento do critério ou desvio relativo do critério face ao valor de referência.

O segundo passo na elaboração do plano é a programação de ações ao nível operacional, estas requerem a identificação das intervenções/ações a realizar no horizonte do plano tendo por base o plano tático, a identificação das respetivas fases de implementação e o cronograma físico e financeiro respetivo (Alegre & Covas, 2010).

Segundo a ERSAR & LNEC (2017), o plano operacional de intervenções/ações deverá ser um documento sintético, claro e bem estruturado, que contemple os seguintes aspetos:

- objetivos e metas operacionais do plano;
- programação das ações e identificação das respetivas fases de implementação;
- cronograma físico e financeiro das intervenções/ações e das respetivas fases;
- estabelecimento dos mecanismos de monitorização e de revisão do plano;

Além destes aspetos, o plano operacional deverá especificar quem são os responsáveis (internos à organização) e os intervenientes (internos e externos) de cada uma das fases das intervenções/ações.

Por fim, a monitorização é fundamental para apresentar os resultados operacionais, tendo como linha de orientação os objetivos estratégicos e táticos, promovendo a identificação atempada de desvios e contribuindo para a revisão do plano operacional.

A monitorização do plano operacional envolve a avaliação das medidas de desempenho selecionadas e a comparação com as metas estabelecidas. Esse processo deve ser realizado regularmente ao longo do ano, geralmente com periodicidade mensal ou trimestral. Anualmente, deverá ser elaborado um documento síntese que apresente os resultados da monitorização (Alegre & Covas, 2010).

A revisão do plano deve ser realizada trimestral ou semestralmente, considerando os resultados da monitorização para corrigir eventuais desvios em relação aos critérios estabelecidos.

A responsabilidade pela revisão do plano deve ser explicitamente atribuída (ERSAR & LNEC, 2017).

Em síntese, os planos operacionais são mais específicos, com um âmbito mais localizado e tematicamente mais limitado e devem ser aprovados pela administração da EG.

O plano operacional de GPI é parte integrante do planeamento global de uma organização devendo estar claramente articulado com o plano de investimentos, de forma a permitir a sua efetiva implementação, sendo que esta relação deve ficar claramente explicitada no plano.

A ligação entre o Plano Operacional e os outros instrumentos de planeamento permite assegurar o alinhamento com a missão e visão da EG.

7.2 Gestão do risco

Na bibliografia da área, é possível encontrar uma certa variabilidade nas definições de risco, tais como:

- O risco é a possibilidade de ocorrência de danos, decorrentes de um determinado perigo, num dado período temporal ou sob certas circunstâncias, sendo que o perigo pode ser descrito como o potencial para provocar danos.

Assim, o risco pode ser descrito pela multiplicação entre o perigo e a consequência, sendo esta última obtida pelo produto matemático entre a vulnerabilidade de um dado recetor e os danos passíveis de ocorrer, decorrentes de um dado perigo (APA, 2019).

$$\text{Risco} = \text{Perigo} \times \text{Consequência (Vulnerabilidade} \times \text{Dano)} \quad (4)$$

- O nível de risco para cada perigo identificado resulta de uma avaliação combinada do nível de probabilidade de ocorrência de um evento e do nível das suas consequências ou gravidade.

A probabilidade indica, num determinado período, a probabilidade de ocorrência de um evento perigoso com potenciais efeitos nocivos. As consequências ou gravidade indicam um potencial efeito adverso para a saúde resultante da exposição a um perigo (Comissão Europeia, 2022).

$$\text{Nível de risco} = \text{Probabilidade} \times \text{Consequência} \quad (5)$$

Considerando que todas as atividades de uma organização envolvem riscos, e que esses devem ser geridos (Alegre & Covas, 2010), é essencial a aplicação de um modelo de gestão e planeamento de riscos que garanta o cumprimento dos objetivos de qualidade aplicáveis à água para reutilização (ApR), sem comprometer a saúde pública ou a proteção dos recursos hídricos. Por fim, esse modelo, também deve assegurar a promoção correta e segura de projetos de reutilização.

Um modelo de gestão do risco assenta em quatro aspetos fundamentais:

- Responsabilidade pela gestão;
- Legislação e procedimentos formais;
- Atores e partes interessadas (*Stakeholders*);
- Política de reutilização;

O modelo de gestão do risco é utilizado para o desenvolvimento de planos de gestão que descrevem como um sistema deve ser operado, monitorizado e gerido para garantia de um uso correto e seguro das ApR (APA, 2019).

De acordo com a Comissão Europeia (2022), a constituição de um plano de gestão dos riscos da reutilização da água é baseada nos seguintes elementos:

- Descrição de todo o sistema de reutilização da água, desde o ponto de entrada na estação de tratamento de águas residuais urbanas até ao ponto de utilização;
- Identificação de todas as partes envolvidas no sistema de reutilização da água, juntamente com as respetivas funções e responsabilidades;
- Avaliação do risco;
- Identificação das medidas preventivas/barreiras que já estão a ser aplicadas ou que deverão ser tomadas para limitar ou atenuar os riscos, por forma a garantir uma gestão adequada de todos os riscos identificados;
- Definição de planos de monitorização;
- Estabelecimento de protocolos para gerir incidentes e emergências;
- Determinação dos mecanismos de coordenação e comunicação entre os diferentes intervenientes no sistema de reutilização da água;

Portanto, os planos de gestão do risco destinam-se ao controlo de todo o sistema de reutilização, desde a produção até à aplicação, de modo a garantir que durante a vida útil do mesmo, o nível do risco se mantém tão reduzido quanto possível e dentro dos valores obtidos em fase prévia de avaliação (APA, 2019).

Sumamente, a gestão do risco consiste na integração da variável risco nos diferentes processos de decisão relativos a cenários futuros por forma a minimizar as consequências expectáveis negativas ou adversas contribuindo, assim, para melhorar a segurança, a eficiência e a sustentabilidade da gestão.

7.2.1 Avaliação do risco

A avaliação do risco é um método científico, que confronta e expressa a incerteza na previsão de acontecimentos futuros, baseado na identificação dos perigos associados a um determinado processo ou situação, e numa estimativa qualitativa e/ou quantitativa do risco associado a estes mesmos perigos. O objetivo de uma avaliação do risco é estimar e reduzir o risco de possíveis eventos adversos até um nível considerado como aceitável para a sociedade em geral, sobretudo para a comunidade local onde se irá efetuar a reutilização de água, e para o ambiente, em particular os recursos hídricos.

O processo de avaliação do risco, dado consistir na previsão de “acontecimentos futuros” envolve incertezas não quantificáveis. Assim, estas devem ser incorporadas no processo, através do uso de escalas de importância, para aumentar a robustez da avaliação e consequentemente da decisão (APA, 2019).

A avaliação do risco compõe-se em dois âmbitos:

- Avaliação do risco sobre a saúde, decorrente da ingestão, inalação ou adsorção dérmica da ApR;
- Avaliação do risco sobre o ambiente, derivado da aplicação da ApR e eventual escorrência, infiltração, percolação ou lixiviação para os recursos hídricos superficiais ou subterrâneos;

A avaliação dos riscos para a saúde avalia qualquer risco para a saúde humana e animal, e desenrola-se ao longo de 4 etapas, tal como ilustrado na figura seguinte:

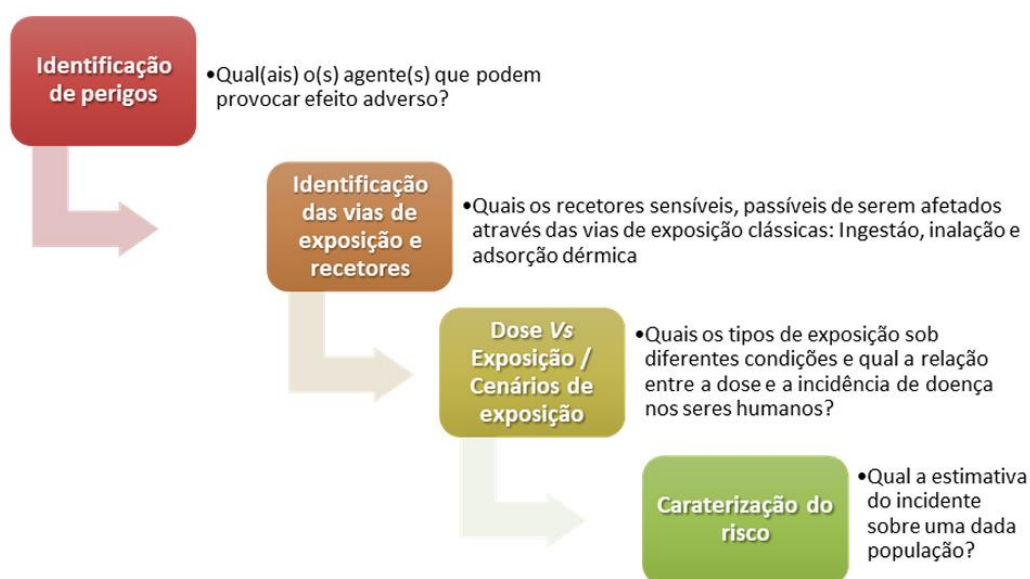


Figura 26: Esquema da avaliação do risco sobre a saúde
(Fonte: APA (2019))

A primeira etapa de um processo de avaliação do risco sobre a saúde, consiste na identificação de quaisquer perigos potenciais (poluentes e agentes patogénicos) ou de eventos perigosos (falhas de tratamento, fugas acidentais, contaminações) que tenham origem no sistema de reutilização da água e possam constituir um risco para a saúde pública (Comissão Europeia, 2022).

Apesar de serem conhecidos múltiplos agentes microbiológicos passíveis de provocarem doença (ex. *Salmonella*, *Giardia*, etc.), num processo de avaliação do risco apenas se utilizam microrganismos indicadores como a *E.coli*, os quais se referem a um tipo de microrganismo, cuja presença na água determina, se a mesma está poluída com material fecal de origem humana ou de outros animais de sangue quente (APA, 2019).

A etapa consequente, reside na identificação dos recetores, que podem ser os seres humanos, os animais, a vegetação ou os solos, bem como na descrição das vias de exposição.

Para os seres humanos, as vias de exposição consideradas são a ingestão, inalação ou adsorção, e podem ocorrer de forma direta, através do contacto direto com a ApR, ou de forma indireta, através de outros recetores que tenham tido eventual contacto direto com a ApR (ex. animais).

Deste modo, para cada projeto de reutilização, devem cruzar-se os possíveis recetores com as vias de exposição, para identificação dos casos possíveis.

Uma vez identificados os recetores e as vias de exposição, devem ser avaliados os possíveis cenários em que essa exposição pode ocorrer (ex. inalação de microgotículas em rega por aspersão, ingestão de leite de gado alimentado com pastagens irrigadas com ApR, etc.).

A definição e caracterização de cenários constitui, uma das fases mais críticas da avaliação do risco, sendo o seu objetivo descrever com o maior detalhe possível, quer no espaço, quer no tempo, as potenciais situações de exposição dos recetores às ApR, independentemente de se tratar de ocorrências pouco prováveis ou mesmo improváveis. Quanto mais abrangente for este processo, maior será a integração das incertezas associadas, aumentando assim a confiança dos resultados do processo de avaliação do risco (APA, 2019).

Nesta fase, para cada recetor deve elaborar-se um esquema com os diferentes cenários de exposição possíveis e vias de exposição.

A vulnerabilidade de cada recetor é determinada pela probabilidade de certos cenários de exposição, ocorrerem por meio de determinadas vias de exposição. Ou seja, quanto mais provável for a ocorrência de um determinado cenário de exposição e mais severas forem as suas consequências, maior será o risco e mais vulnerável estará o recetor.

Após esta fase, deve-se estimar a severidade dos danos, que poderão ocorrer conforme os diferentes cenários de exposição e recetores.

Esta estimativa poderá ser efetuada através de uma análise quantitativa, mas como esse processo exige uma quantidade de dados considerável, geralmente opta-se pelo modelo qualitativo ou semi-quantitativo, Também na Comissão Europeia (2022), é sugerida a avaliação qualitativa dos riscos, como a metodologia mais adequada e economicamente viável, uma vez que na aplicação desse tipo de modelos, a severidade dos danos pode ser definida empiricamente com base nos dados da literatura existentes para a ocorrência de doença decorrentes do tipo de exposição. Por exemplo, no caso de ingestão direta de água contaminada deve ser considerada uma severidade elevada devido à existência de dados científicos sobre o desenvolvimento de doença por esta via de exposição.

Quanto maior for o nível de contaminação, pior será a severidade dos danos.

A última etapa do processo de avaliação é a caracterização do risco, que consiste na quantificação e priorização do risco para a saúde humana resultante diretamente dos fatores associados ao perigo, às vias de exposição, aos cenários aplicáveis e às barreiras múltiplas em vigor (Rebelo et al., 2020).

O primeiro passo, será uma caracterização qualitativa do dano associado aos cenários de exposição referentes às vias diretas para o ser humano.

O dano qualitativo associado a cada cenário é obtido através do produto matemático entre a probabilidade de ocorrência (falha na barreira) e a severidade dos danos. Para o efeito recorre-se à matriz da figura seguinte (APA, 2019).

		Rara	Pouco provável	Possível	Provável	Quase certa
		Probabilidade de falha na barreira				
Insignificante	Severidade dos danos	Muito baixo	Muito baixo	Baixo	Baixo	Moderado
Fraco		Muito baixo	Baixo	Baixo	Moderado	Elevado
Moderado		Baixo	Baixo	Moderado	Elevado	Elevado
Forte		Baixo	Moderado	Elevado	Elevado	Muito elevado
Severo		Moderado	Elevado	Elevado	Muito elevado	Muito elevado

Figura 27: Matriz de caracterização qualitativa do dano associado a cada cenário
(Fonte: APA (2019))

Segundo a APA (2019), para obtenção do nível total do risco para a saúde pública associado a cada projeto, as situações que determinem um dano elevado a muito elevado devem seguir para caracterização quantitativa do risco, caso haja disponibilidade de dados que permitam a mesma, enquanto as restantes situações poderão seguir para uma caracterização semi-quantitativa ou qualitativa, essa baseia-se na aplicação de matrizes de probabilidade de ocorrência versus severidade dos danos, similares à da Figura 28 e também na aplicação de fatores de importância.

Se o dano obtido a partir da matriz da Figura 28, for igual ou superior a moderado têm, de ser implementadas barreiras ou medidas de prevenção de modo a minimizar o risco.

Uma barreira pode ser definida como qualquer meio, incluindo medidas físicas e procedimentais ou condições de utilização, que reduz ou previne os riscos para a saúde e o ambiente, ao impedir o contacto com as águas reutilizadas e/ou ao melhorar a sua qualidade (Rebelo et al., 2020).

Enquanto a medida preventiva é definida como uma ação ou atividade adequada, passível de prevenir ou eliminar um risco sanitário ou ambiental, ou de reduzir esse risco até um nível aceitável (Regulamento (UE) 2020/471, 2020).

Existem vários tipos de barreiras que podem ser aplicadas individualmente ou em conjunto, adicionando uma proteção do tipo multibarreira. Note-se que a probabilidade de falha de uma única barreira é sempre superior à probabilidade de falha em simultâneo de várias, pelo que da aplicação de multibarreiras resulta sempre um nível de risco mais reduzido face à aplicação de medidas de prevenção singulares.

A medida de controlo que produz um resultado equivalente a uma determinada redução microbiológica correspondente à eliminação de um dado perigo ou redução do mesmo até um nível aceitável é definida como barreira equivalente (APA, 2019).

Existem múltiplos exemplos de barreiras a ser implementadas num sistema de ApR, tais como:

- Implementação de um tratamento mais sofisticado e avançado;
- Horários de rega fora das horas de uso dos espaços;
- Utilização de equipamento de proteção individual;
- Cessação da rega ou interrupção em período de tempo anterior à colheita;
- Restrição de acesso durante as horas de rega em áreas públicas, de lazer ou desportivas;
- Instalação de sensores em qualquer ponto crítico do sistema, que permitam detetar anomalias;
- Implementação de fontes de água redundantes e reservatórios de emergência;

Se após a aplicação das barreiras, o dano continuar num nível elevado, todo o processo deve ser repetido, considerando medidas adicionais de minimização do risco (Rebelo et al., 2020). No entanto, se após esta repetição, o dano permanecer elevado, o projeto deverá ser considerado como inviável.

Após a determinação do dano, deverá ocorrer um processo semi-quantitativo, tal como expresso em APA (2019), até à obtenção do risco global. Este poderá ser desprezável, aceitável ou inaceitável.

Se o risco resultante de todo esse processo iterativo for aceitável ou desprezável, o projeto deverá então prosseguir para outras etapas.

O processo da avaliação do risco sobre o ambiente deverá seguir a mesma estrutura, mas com algumas diferenças notáveis como nos perigos, recetores e vias de exposição identificados ou na caracterização dos cenários de exposição.

Num projeto de reutilização, e no que se refere ao impacto nos recursos hídricos, os perigos identificados são todas as substâncias e compostos químicos passíveis de provocarem danos, nos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, nutrientes como o azoto e o fósforo, e perigos microbiológicos.

Os recetores a considerar são as águas superficiais e subterrâneas, sendo que as vias de exposição diretas incluem a rejeição, infiltração e deposição, enquanto as vias indiretas são a ressuspensão, lixiviação e percolação.

Os cenários de exposição a considerar são as emissões, rejeições ou fugas a partir dos sistemas de produção, distribuição, armazenamento e aplicação das ApR.

Na avaliação de risco, para os recursos hídricos, não se aplica o conceito de barreira equivalente, pelo que cada barreira é sempre considerada como apenas uma medida de prevenção singular (APA, 2019).

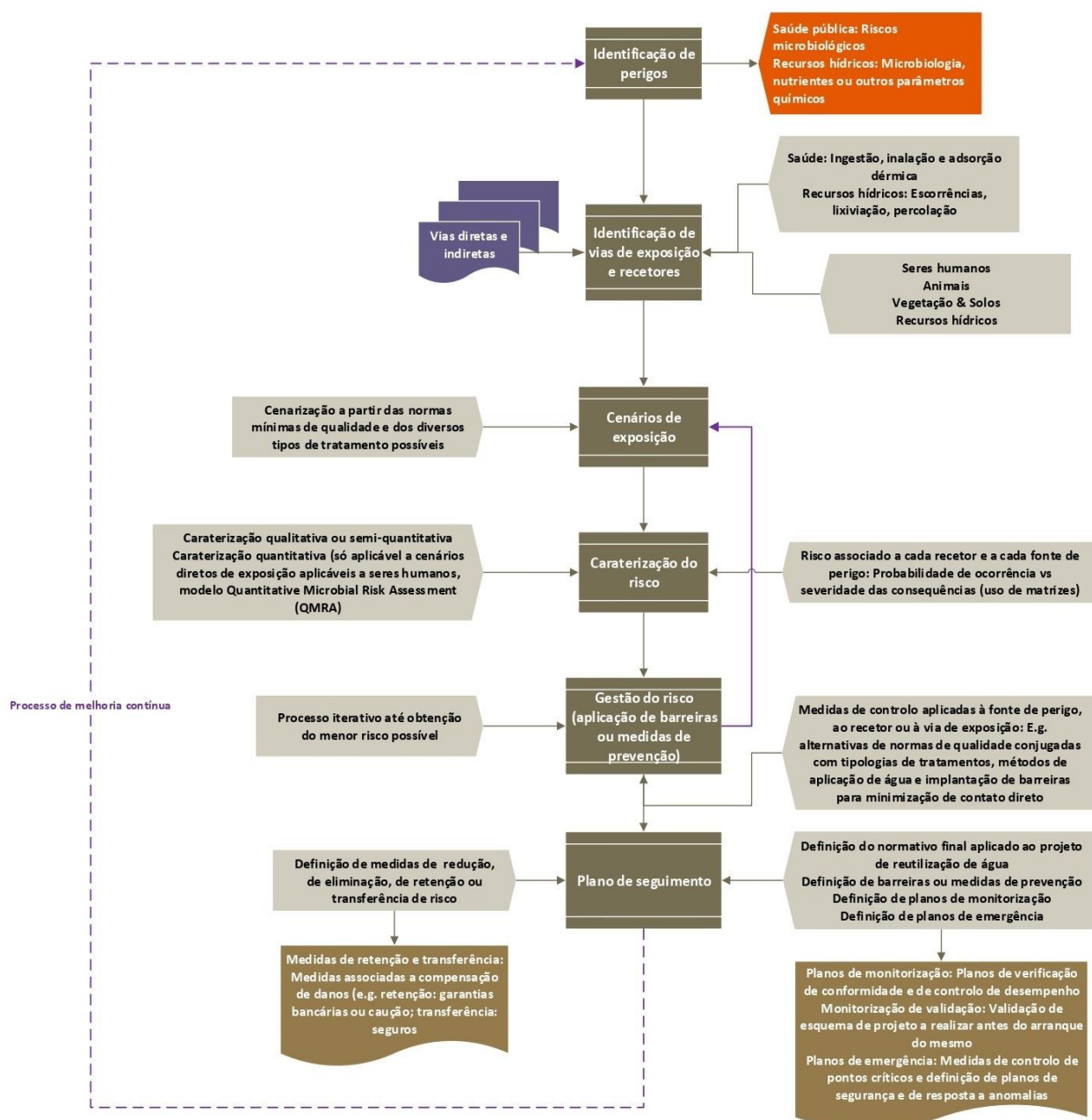


Figura 28: Diagrama da avaliação do risco
(Fonte: APA (2019))

7.2.2 Planos de monitorização

Após uma detalhada avaliação do risco, deve-se proceder ao desenvolvimento e implementação dos planos de monitorização, com a finalidade geral de proteger a saúde humana, os recursos hídricos, a vegetação e solos e os equipamentos dos sistemas de ApR e por fim, manter um nível de risco considerado aceitável ou desprezável.

De acordo com a APA (2019), os planos de monitorização poderão distinguir-se em três grupos distintos:

- Monitorização de validação;
- Monitorização de desempenho ou operacional;
- Monitorização de conformidade;

Para cumprir os programas de monitorização, devem ser recolhidas amostras compostas ou pontuais, conforme a matriz e os parâmetros a amostrar. A monitorização da ApR deve ser realizada tanto no ponto de entrega como no ponto de aplicação.

A monitorização de validação visa assegurar, que um determinado sistema de reutilização cumpre os requisitos para os quais foi projetado, garantindo que os processos e procedimentos previstos, ao longo da vida do projeto, controlem eficazmente os riscos envolvidos na reutilização. Deste modo, um dos principais objetivos da monitorização de validação é provar que um dado sistema de produção de água para reutilização pode entregar água com a qualidade requerida para o uso final pretendido.

Este tipo de monitorização só é efetuada, uma vez no arranque do sistema de tratamento (ou após reformulação do mesmo) para verificação das condições de projeto.

A monitorização de desempenho ou operacional consiste no controlo do desempenho dos equipamentos ao longo da sua vida útil.

O desempenho dos sistemas de produção de ApR e a respetiva fiabilidade devem ser controlados através da implementação de controlo de parâmetros operacionais adequados à tipologia de tratamento implantado. As outras componentes dos sistemas de ApR, também devem ser monitorizadas através da implantação de pontos críticos de controlo da fiabilidade das barreiras ou das medidas preventivas instaladas ao longo do sistema.

A garantia do controlo dos pontos críticos em tempo real, permite a definição de ações corretivas em tempo útil, para fazer face a situações críticas ou anómalas, tais como avarias ou acidentes.

A monitorização de verificação de conformidade preconiza a validação da reutilização com as condições impostas na respetiva licença, a qual tem de contemplar um programa de monitorização aplicável à produção de ApR e/ou à respetiva utilização (APA, 2019).

Tipologia de sistema	Finalidade da ApR	Responsabilidade pela monitorização
Centralizado	Produção	Entidade gestora do sistema centralizado
	Uso próprio	
	Cedência a terceiros	
	Utilização por terceiros	Utilizador final
Descentralizado	Produção e utilização	Utilizador final

Tabela 5: Responsabilidade da implementação de programas de monitorização de verificação de conformidade (Fonte: Adaptada de APA (2019))

Para além dos planos de monitorização acima mencionados, deve-se também proceder à supervisão da qualidade das ApR e do meio recetor.

Na monitorização da qualidade das ApR, a finalidade é salvaguardar as características das águas produzidas até ao ponto da sua utilização, e garantir um uso seguro e inquestionável das ApR.

Alguns dos parâmetros controlados são a *E.Coli*, CB05 ou a SST.

Enquanto na monitorização dos meios recetores (solo, vegetação, ou recursos hídricos) o objetivo é assegurar que não ocorra a sua deterioração, através da observação e registo de alguns indicadores como a salinidade, metais pesados, o azoto e o fósforo.

Por fim, devem ser implementados planos de gestão e coordenação de emergências, para estabelecer protocolos para gerir incidentes e emergências, devendo também incluir protocolos sobre a forma como as informações serão comunicadas entre os intervenientes, formatos e procedimentos para a comunicação de acidentes e emergências, procedimentos de notificação, fontes de informação e processos de consulta (Comissão Europeia, 2022).

Posto isto, todos os sistemas de reutilização de água são sistemas geridos — não é algo que se configura e esquece — e necessitam de pessoal designado, orçamentos e planos adequados para funcionar com sucesso. Se não forem devidamente e continuamente geridos, os sistemas podem degradar-se e potencialmente ameaçar a saúde pública, bem como comprometer a aceitação do sistema pelos seus utilizadores (WJW Foundation, 2018).

7.3 Identificação dos possíveis indicadores de qualidade de serviço para redes de distribuição de ApR, atendendo aos potenciais usos: doméstico, agrícola ou industrial

Entende-se por indicador de qualidade do serviço, uma medida de avaliação quantitativa da eficiência ou da eficácia de um elemento do serviço prestado pela entidade gestora.

A eficiência mede até que ponto os recursos disponíveis são utilizados de modo otimizado para a produção do serviço, enquanto a eficácia mede até que ponto os objetivos de gestão, definidos específica e realisticamente, são cumpridos (International Organization for Standardization, 2007).

De um modo geral, os indicadores de qualidade do serviço selecionados sintetizam, os aspetos mais relevantes da qualidade do serviço, visando uma representação verdadeira e equilibrada.

A utilização destes indicadores constitui um instrumento importante da regulação do serviço, permitindo uniformizar a recolha de informações e a avaliação de desempenho, fundamentadas em definições claras e numa linguagem comum, de forma a representar de maneira justa e equilibrada o conjunto das entidades gestoras.

Cada indicador, ao contribuir para a quantificação da qualidade do serviço sob um dado ponto de vista, numa determinada área e durante um dado período de tempo, facilita a avaliação do cumprimento de objetivos e a análise da evolução ao longo do tempo. Desta forma, simplifica-se uma análise que por natureza é complexa.

Por conseguinte, os indicadores de qualidade do serviço subdividem-se em três grupos:

- Indicadores que traduzem a adequação do serviço ao utilizador;
- Indicadores que traduzem a sustentabilidade da gestão do serviço;
- Indicadores que traduzem a sustentabilidade ambiental;

Posto isto, os indicadores de desempenho expressam o nível da qualidade do serviço prestado aos utilizadores destes serviços, através de uma medida quantitativa da eficiência e da eficácia, tornando direta e transparente a comparação entre objetivos de gestão e resultados obtidos, simplificando uma situação que de outro modo seria melindrosa.

Neste contexto, ao permitir quantificar a qualidade do serviço oferecido aos utilizadores, o uso dos indicadores de desempenho possibilita também, a avaliação comparativa do cumprimento de objetivos e a análise da sua evolução ao longo do tempo.

Por fim os indicadores de desempenho, constituem um instrumento de avaliação das entidades gestoras relativamente a aspetos específicos da atividade desenvolvida (Cardoso et al., 2024).

Os indicadores de desempenho e de qualidade de serviço, e o seu sistema de avaliação, constituem assim a base, para a regulação e supervisão dos serviços do setor da água, por parte da ERSAR.

O exercício da missão da ERSAR inclui, entre outras atribuições, assegurar a regulação da qualidade dos serviços, promovendo a melhoria dos seus níveis, e avaliando o desempenho das entidades gestoras comparando-as entre si, premiando ainda casos de referência.

Para cumprir essa finalidade, a ERSAR utiliza mecanismos de avaliação da qualidade do serviço prestado aos utilizadores, com base nos indicadores, comparando os resultados com os de entidades semelhantes em diferentes regiões geográficas (benchmarking), de modo a regular e melhorar a qualidade dos serviços.

Os resultados da avaliação e do benchmarking são expostos publicamente, garantindo assim, um direito fundamental de todos os utilizadores. A divulgação desses resultados, também motiva as entidades gestoras a procurar maior eficiência, já que desejam ocupar uma posição favorável.

Além disso, visa-se promover uma cultura de informação que seja clara, confiável e de fácil compreensão. Por outro lado, verifica-se que uma das principais vantagens comprovadas na aplicação deste sistema de indicadores, reside na exigência imposta às entidades gestoras de implementarem e manterem atualizadas rotinas de recolha e organização de dados, integrando este sistema de indicadores como parte essencial na operação e gestão dos serviços (Cardoso et al., 2024).

A regulação destes serviços tem, assim, como principal preocupação a proteção dos interesses dos utilizadores, através da promoção da continuidade e qualidade do serviço prestado pelas entidades gestoras e da garantia do equilíbrio dos tarifários praticados, materializada nos princípios de universalidade, equidade, fiabilidade e de custo-eficácia.

Sumamente, o modelo de regulação da ERSAR visa então, contribuir para a sustentabilidade global do setor, abrangendo as vertentes social, ambiental e das entidades gestoras.

Tal como todos os outros sistemas ligados ao setor da água, os sistemas de sistemas de distribuição e armazenamento de água para reutilização, precisam de ser igualmente regulados através de um sistema de avaliação onde os indicadores de qualidade de serviço constituem os critérios de avaliação.

Deste modo, sugere-se na tabela 6, alguns indicadores de qualidade de serviço que poderão ser utilizados para avaliar e regular a qualidade do serviço em sistemas de ApR.

Indicadores de qualidade de serviço dos sistemas de distribuição e armazenamento de ApR	Descrição
IQ1 - ApR adequada (%)	Este indicador destina-se a avaliar o nível de adequação do serviço aos vários usos, em termos de qualidade do serviço prestado aos utilizadores, no que respeita à qualidade da água fornecida pela entidade gestora. É definido como a percentagem de água controlada e de boa qualidade.
IQ2 - Resposta a reclamações, sugestões e pedidos de informação escritos (%)	Este indicador destina-se a avaliar o nível de adequação do serviço ao utilizador em termos de qualidade do serviço prestado aos utilizadores, no que respeita à resposta da entidade gestora aos utilizadores relativa a reclamações, sugestões e pedidos de informação escritos ou telefónicos. É definido como a percentagem de reclamações, sugestões e pedidos de informação escritos ou telefónicos que foram objeto de resposta escrita e/ou audível num prazo não superior ao indicado.

IQ3 - Utilização da infraestrutura da ETAR/tratamento adicional (%)	Este indicador destina-se a avaliar o nível de sustentabilidade da gestão do serviço em termos infraestruturais, no que respeita à utilização da infraestrutura de tratamento de água. É definido como a percentagem da capacidade de tratamento utilizada no período de maior produção.
IQ4 - Eficiência energética de instalações elevatórias [kWh/(m³ · 100 m)]	Este indicador destina-se a avaliar o nível de sustentabilidade ambiental do serviço em termos da eficiência na utilização de recursos ambientais, no que respeita à adequada utilização dos recursos energéticos, enquanto bem escasso que exige uma gestão racional. É definido como o consumo de energia médio normalizado das instalações elevatórias.
IQ5 - Flexibilidade no fornecimento (m³/s)	Este indicador destina-se a avaliar o nível de sustentabilidade da gestão do serviço em termos infraestruturais, no que respeita à capacidade de adaptação da rede para aumentar ou reduzir o fornecimento, conforme as necessidades sazonais ou específicas dos usos.
IQ6 - Ocorrência de avarias em condutas [n.º/(100 km · ano)]	Este indicador destina-se a avaliar o nível de sustentabilidade da gestão do serviço em termos infraestruturais, no que respeita à existência de uma frequência reduzida de avarias nas condutas. É definido como o número de avarias em condutas por 100 km de conduta.

Tabela 6: Indicadores de qualidade de serviço dos sistemas de distribuição e armazenamento de ApR

A implementação do **IQ1** no sistema de avaliação de um sistema de ApR, é de primordial importância, devido as características da fonte de água para reutilização e os riscos associados.

A avaliação do **IQ1** permite monitorizar de forma contínua a qualidade da água e garantir que ela atenda aos padrões de segurança estabelecidos, minimizando os riscos referentes à saúde pública e ao meio ambiente.

Portanto, é essencial que a entidade gestora se comprometa em fornecer água segura e de alta qualidade, para atingir o indicador proposto e promover a confiança no uso das ApR.

Também associado a produção de ApR, surge o **IQ3**, este indicador é implementado com o objetivo de avaliar a eficiência e a sustentabilidade da operação do tratamento da água, assegurando que a infraestrutura existente é utilizada de forma otimizada.

Também, tal como nos outros sistemas, os sistemas de ApR, poderá utilizar estações elevatórias.

Considerando que estas estações têm um consumo energético significativo, o que afeta diretamente os custos operacionais do sistema, torna-se essencial otimizar esse consumo e encontrar formas mais sustentáveis e menos poluentes de produção de energia.

Nesse contexto, surge o **IQ4**, este indicador é implementado para avaliar o nível de eficiência energética das instalações, com a finalidade de promover a otimização do consumo de energia e incentivar o uso de tecnologias e práticas que reduzam o impacto ambiental.

O acompanhamento do **IQ4** permite às entidades gestoras identificar oportunidades para aumentar a eficiência dos equipamentos, reduzir custos e, simultaneamente, diminuir as emissões de carbono, contribuindo assim, para a sustentabilidade ambiental e económica dos sistemas de ApR.

A implantação do **IQ6**, servirá para avaliar a resistência infraestrutural do sistemas aos fatores internos ou externos, sendo que através da análise do **IQ6**, é possível identificar pontos críticos ao longo do sistema, permitindo que as EG tomem ações preventivas ou corretivas para minimizar avarias.

Além disso, o acompanhamento desse indicador contribui para a longevidade da infraestrutura, pois impede que a infraestrutura se degrade por completo.

Como existe um certo desconhecimento e receio por parte da população, acerca dos sistemas de ApR, a aplicação de **IQ2**, torna-se imprescindível para o sucesso da EG.

Para o cumprimento desse indicador, é essencial que a EG informe os seus utilizadores e esclareça todas as dúvidas de forma pormenorizada e exaustiva.

Por fim, a implementação do **IQ5**, é imprescindível na tentativa de constatar a capacidade de adaptação da rede de ApR, para responder á variabilidade sazonal ou diária dos consumos, conforme as necessidades dos usos

Como os sistemas de ApR, podem servir vários usos, é essencial para o sucesso da EG, que o sistema tenha flexibilidade suficiente para ajustar o volume fornecido em função dessas necessidades variáveis, sem comprometer a capacidade de fornecer água em quantidade e pressão, e que não se deixe influenciar por fatores externos.

Tal como referido, anteriormente, todos estes indicadores são imprescindíveis para a avaliar a estratégia global da entidade gestora sob diferentes perspetivas, e visam contribuir para a sustentabilidade global da entidade gestora.

7.4 Elaboração de uma proposta de plano de gestão tático de infraestruturas de ApR, com base nos princípios da gestão patrimonial de infraestruturas

Este subcapítulo tem como objetivo fornecer um guia prático e orientações detalhadas, para a elaboração de uma proposta de um plano tático de infraestruturas de ApR, através da formulação de um *template*. Um plano de gestão tática tem como base primordial, um *template*, este é um documento que contém um layout pré-definido, com espaços reservados para a inserção de conteúdo específico (Escola LBK, n.d.), destinado a organizar e estruturar as informações de forma eficiente.

Um *template* é utilizado para facilitar a criação de planos detalhados de forma rápida e consistente, sem que seja necessário começar do zero, oferecendo uma base sólida para a estruturação do conteúdo, e alta qualidade ao resultado final.

O uso de um *template* agiliza o processo da elaboração do plano, garante a padronização e a consistência, melhora a qualidade dos documentos, ao mesmo tempo que assegura que todas as partes importantes de um plano sejam abordadas de maneira clara e eficiente, e por fim facilita a colaboração e organiza as informações de forma lógica e clara.

Inicialmente, estava previsto a elaboração de um *template* de um plano de gestão operacional, mas devido à escassa bibliografia disponível sobre esta temática, optou-se pela elaboração de um *template* de gestão tática, que será apresentado na seguinte tabela.

1 - Introdução (Anexo I)	1.1 - Sumário Executivo - Exposição da visão geral e concisa do documento completo
	1.2 - Organização do plano - Apresentação dos elementos que compõem o plano
	1.3 - Relação e ligação com os outros instrumentos de planeamento - O plano tático de GPI é parte integrante do planeamento global de uma organização devendo estar claramente articulado com outros planos, como o plano estratégico ou o plano de investimento de forma a permitir a sua efetiva implementação (ERSAR & LNEC, 2017).

2 - Âmbito e horizonte do plano (Anexo II)	Nesta parte do plano tático define-se o âmbito, que serve para estabelecer os limites do plano. Neste caso, o âmbito é setorial, abrangendo um tipo específico de sistema (os sistemas de ApR). Também apresenta-se o horizonte temporal, que será de médio prazo.
3 - Objetivos táticos e sistema de avaliação (Anexo III)	3.1 - Definição e descrição dos objetivos táticos - Os objetivos táticos, estabelecidos no nível tático de planeamento, devem estar alinhados com os objetivos estratégicos e as estratégias definidas, assegurando que contribuem para o seu cumprimento. Os objetivos táticos de GPI devem ser pragmáticos, mensuráveis e compatíveis entre si.
	3.2 - Enumeração dos critérios de avaliação - Para cada objetivo tático estabelecido devem ser definidos critérios de avaliação, que permitam uma análise concreta do respetivo nível do cumprimento do objetivo.
	3.3 - Métricas e valores de referência - Cada critério de avaliação é quantificado através de métricas. As métricas selecionadas devem permitir avaliar concretamente os critérios escolhidos, e ser complementares entre si e não sobrepor informação. O cálculo das métricas propostas deve ser exequível. No caso de não ser possível uma determinação quantitativa (indicadores) podem ser identificadas, em alternativa, métricas qualitativas (índices ou níveis). Para cada métrica devem ser definidos valores de referência, estes permitem julgar os resultados das métricas obtidos no diagnóstico (ERSAR & LNEC, 2017).
4 - Definição de áreas de análise e cenários (Anexo IV)	4.1 - Definição de áreas de análise - Devido a solicitação de informação mais detalhada acerca das infraestruturas, é essencial dividir o sistema global em unidades funcionais independentes com base em critérios físicos, de gestão da informação, e de gestão de recursos humanos e tecnológicos. Agrupar essas unidades com características comuns, facilita o processo de estabelecimento de prioridades de intervenção e de programação das intervenções, permitindo efetuar uma hierarquização das áreas de análise.
	4.2 - Definição de cenários - A elaboração desta etapa é bastante útil para apoiar as decisões em contexto de incerteza. O objetivo dela não é prever o futuro, mas alertar os decisores sobre as possíveis mudanças e descontinuidades que possam afetar as suas decisões. Para tal, a entidade gestora deve identificar fatores externos que não controla, mas têm o potencial de influenciar a sua atividade, e com isso, criar eventuais cenários, que permitam integrar a incerteza no contexto externo nas decisões.

5 - Diagnóstico (Anexo V)	5.1 - Identificação e avaliação da informação disponível - A informação recolhida deve ser adequada e suficiente para caracterizar o sistema/área de análise envolvido e a sua situação de partida, apoiar a avaliação, prever a sua evolução a médio e longo prazo, e por fim fundamentar as táticas que serão implementadas.
	5.2 - Avaliação da situação de referência- Esta avaliação é realizada no tempo inicial, através do cálculo das métricas correspondentes à situação de referência, comparando-as os respetivos valores de referência. Deve-se identificar as causas associadas aos problemas detetados.
	5.3 - Estabelecimento das metas - O conhecimento obtido através da aplicação do sistema de avaliação é fundamental para a definição de metas para cada métrica, as quais devem ser realistas e definidas de modo a orientar o progresso em direção aos objetivos táticos estabelecidos inicialmente.
	5.4 - Previsão da situação futura para cada cenário definido/alternativo à situação de referência - No caso de um dos cenários estabelecidos em 4.2 diferir da situação de referência numa métrica, deve -se efetuar a previsão da evolução dessa métrica, à parte.
	5.5 - Identificação dos problemas que afetam sistema de ApR a nível global - Após a aplicação futura do sistema de avaliação tático, os resultados obtidos devem ser analisados comparando o valor da métrica obtido com o valor estabelecido na meta, a fim de identificar os principais problemas que afetam o sistema global.
	5.6 - Hierarquização das áreas de análise - As áreas de análise estabelecidas em 4.1 devem ser hierarquizadas, sendo esta hierarquização feita a partir da análise do efeito que os cenários e outros fatores de contexto possam ter nos resultados da hierarquização inicial referente à situação de referência (Guia 21). Essa hierarquização serve para estabelecer em quais áreas de análise, as intervenções devem ser priorizadas.
6 - Táticas para a gestão patrimonial de infraestruturas (Anexo VI)	6.1 - Definição das táticas - Com base no diagnóstico efetuado, devem ser definidas táticas que permitam lidar com os problemas identificados, alinhadas com os objetivos táticos previamente definidos. As táticas são delineadas ao nível do sistema global e da área de análise, considerando o horizonte de planeamento, e podem ser táticas não infraestruturais, táticas de operação e manutenção e, por fim, táticas infraestruturais (ERSAR & LNEC, 2017).
	6.2 - Identificação dos recursos necessários - Para a implementação e execução das táticas, devem ser identificadas os recursos necessários, como os financeiros, humanos e tecnológicos.

7 - Planeamento da monitorização (Anexo VII)	A monitorização da implementação do plano tático de GPI consiste na aplicação periódica de um sistema de avaliação, para medir o grau de execução das táticas. O objetivo é identificar precocemente possíveis desvios que exijam a adoção de ações corretivas, assegurando assim o cumprimento dos objetivos táticos. Além disso, é essencial definir, de forma precoce, procedimentos para tratar ocorrências imprevistas que possam impactar o plano. A aplicação regular do sistema de avaliação também garante a rastreabilidade dos progressos alcançados ou das dificuldades encontradas em GPI. A monitorização deve ser efetuada anualmente, e no seu planeamento devem ser identificadas as atividades, e os responsáveis por cada atividade.
8 - Planeamento de revisão (Anexo VIII)	O processo de revisão consiste na análise dos resultados de monitorização e da ocorrência de desvios ao planeamento (com a identificação das causas de desvios e medidas de melhoria), reconhecendo a necessidade de proceder a ajustes de objetivos, critérios de avaliação, métricas, metas e táticas, e no reporte e divulgação dos resultados. A periodicidade da revisão deste plano deverá estar compreendida entre os 2 a 3 anos (ERSAR & LNEC, 2017). Além disso, devem ser identificados, neste plano, os responsáveis pelas atividades de revisão.

Tabela 7: *Template* de um plano de gestão tática de um sistema de ApR

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

8.1 Conclusões

Face aos problemas de escassez de água, induzidos pelas alterações climáticas e pelo crescimento populacional, a reutilização da água tem-se revelado como uma solução duradoura, resiliente, e já demonstrada em alguns países como Singapura ou os Estados Unidos da América.

Em Singapura, o apoio governamental e a implementação de um eficiente plano de comunicação e educação pública, revelaram-se como fatores cruciais e exemplares para o sucesso da reutilização da água.

A comunicação aos céticos e futuros utilizadores dessa solução, deverá incluir a apresentação das estatísticas que demonstram a necessidade e a vantagem da implementação dessa solução, a enumeração das diferentes possibilidades de reutilização da água, e por fim, a demonstração detalhada do tratamento rigoroso pela qual as águas residuais passam, para serem transformadas em águas para reutilização.

Embora o custo do tratamento ainda seja considerado um entrave à implementação das soluções da reutilização da água, novas opções de tratamento mais eficientes em termos energéticos e de espaço, como o biorreator de membrana (BRM), têm surgido e estão em constante desenvolvimento.

As vantagens económicas, ambientais, sociais que a utilização de sistemas de ApR poderá trazer aos países numa situação de stress hídrica, superam em larga escala, os custos mais reduzidos de outras soluções mitigadores da seca, uma vez que a reutilização da água, é uma medida sustentável de longo prazo, que reduz a dependência da sociedade dos fatores externos.

Nesta dissertação de mestrado, averiguou-se que um dos fatores que influencia o sucesso da aplicação da reutilização da água e dos seus sistemas, é a escolha do modelo de gestão a adotar, uma vez que essa é uma solução que necessita de um investimento avultado e cauteloso. Se o modelo de gestão correto não for selecionado, o sistema de ApR, poderá sofrer consequências e arrisca-se a ser um investimento fracassado para o investidor, o que resultaria em danos irreversíveis na confiança dos utilizadores.

Os sistemas de ApR, devem ser geridos a partir de uma perspetiva global, integrando e interligando as diversas componentes de gestão, de forma a torná-los um ativo resiliente, seguro e capaz de responder eficazmente às necessidades hídricas e aos desafios ambientais, garantindo a sustentabilidade a longo prazo.

Constatou-se nesta dissertação, que uma das componentes da gestão mais influente no sucesso da implementação desta solução, é a gestão do risco, uma vez que a elaboração de um plano conciso e detalhado permite identificar, avaliar e mitigar as potenciais ameaças e incertezas, garantindo a continuidade e eficácia dos sistemas de ApR, bem como a sua adaptação a cenários futuros e imprevisíveis.

O exemplo de Singapura destaca-se nesse contexto, demonstrando a influência e importância crucial de uma gestão do risco eficiente, aliada com a adoção da abordagem de múltiplas barreiras, para o sucesso dos sistemas de ApR, nesse país asiático.

Também na perspectiva da gestão, verificou-se que a gestão patrimonial de infraestruturas de ApR, ainda está por desenvolver, pois não existe muita bibliografia sobre o tema, o que limita a capacidade de formular estratégias e táticas, eficazes e integradas para a execução dos planos, bem como para a manutenção e otimização dos recursos.

Essa lacuna, poderá complicar a viabilidade da implementação da solução de reutilização de água, por isso na tentativa de colmatar esta lacuna, elaborou-se nesta dissertação, um *template* de um plano de gestão tática, onde estão organizados e enumerados todos os procedimentos para a realização desse plano.

Por fim, destaca-se a importância da utilização dos indicadores de qualidade de serviço, para a regulação do serviço prestado pelos sistemas de ApR, uma vez que os indicadores facilitam a avaliação do cumprimento dos objetivos estabelecidos e a análise da evolução do desempenho ao longo do tempo dos sistemas de ApR.

Em suma, o sucesso da implementação de sistemas de distribuição e armazenamento de águas para reutilização, dependerá de uma gestão competente e abrangente, além de uma variedade de fatores. Principalmente, dependerá da criação de um guia prático e completo nesta temática, cuja elaboração foi o principal objetivo dessa dissertação de mestrado, e que se espera servir como uma porta aberta para futuras iniciativas.

8.2 Sugestões para trabalhos futuros

Com base nas conclusões previamente apresentadas, é importante que estudos futuros, complementem as lacunas existentes na temática de gestão patrimonial de infraestruturas de águas para reutilização, onde sugere-se a elaboração dos planos estratégicos, táticos e operacionais, de uma forma que se pretenda coesa e integrada .

Recomenda-se também, a elaboração de um sistema de regulação da qualidade de serviço a nível europeu e nacional, visando estabelecer padrões normativos consistentes, para que os sistemas de ApR, se tornem numa fonte segura e mitigadora dos impactos das alterações climáticas, capaz de corresponder positivamente às expetativas dos possíveis utilizadores.

Por fim sugere-se elaboração de um plano exaustivo de gestão de risco de ApR, onde através desses, todos os perigos e riscos possam ser identificados e avaliados, além da inclusão de estratégias de redução de riscos e protocolos de monitorização.

Em Portugal, de forma a mitigar as secas severas na região do Algarve, deve-se ponderar a construção de sistemas centralizados de ApR nos centros urbanos algarvios, para que tal aconteça, recomenda-se como primeira etapa, o estudo exaustivo dos procedimentos adotados em Singapura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ISO 9000:2015 - Quality Management Systems - Fundamentals and Vocabulary (2015).
<https://www.iso.org/standard/45481.html>
- Albinia, A. (2023). A iminente crise da água. In *The National Geographic*.
- Alegre, H., & Covas, D. (2010). *Guia Técnico 16 - Gestão patrimonial de infra-estruturas de abastecimento de água: uma abordagem centrada na reabilitação* (Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, Instituto Superior Técnico, & Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Eds.).
- Amaral, I. C. (2019). *Reutilização de Águas Residuais Tratadas na Rega de Espaços Verdes – Efeito da Salinidade nos Solos e nas Plantas*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- APA. (2019). Guia para a reutilização de água para usos não potáveis. In *APA*.
- APA, MAOTE, & AdP. (2015). *Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais 2020 (PENSAAR)*. Direção-Geral de Recursos Hídricos (DGRH).
- Bauer, S., & Wagner, M. (2022). Possibilities and Challenges of Wastewater Reuse—Planning Aspects and Realized Examples. *Water (Switzerland)*, 14(10), 1–12. <https://doi.org/10.3390/w14101619>
- Cardoso, M. A., Silva, C., Rosa, M. J., Brito, R., Beceiro, P., Jorge, C., Alegre, H., Martinho, G., Pina, J., Silveira, A., Alves, A. V., Brito Ana, J., Ramos, M., Carrega, M., Rodrigues, S., Costa, A., Cardoso, J., & Rodrigues, R. (2024). *GUIA 27 - Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores - 4.ª geração do sistema de avaliação (ERSAR)*.
- Carvalho, J. C. D., & Filipe, J. C. (2006). *Manual de estratégia: Conceitos, prática e roteiro*.
- Comissão Europeia. (2022). *Orientações para apoiar a aplicação do Regulamento (UE) 2020/741 relativo aos requisitos mínimos para a reutilização da água (C 298)*.
- Crouch, D. P. (1993). *Water Management in Ancient Greek Cities*. Oxford University Press.
- Dalri-Cecato, L., Battistelli, A. A., Schneider, E. E., Hassemer, M. E. N., & Lapolli, F. R. (2019). Estimativa dos custos de operação de um biorreator a membrana. *Revista DAE*, 67(217), 90–102.
<https://doi.org/10.4322/dae.2019.025>
- Decreto-Lei Nº 23/95, Diário da República - ISÉRIE-B (1995).
- Decreto-Lei Nº 77/2021, Diário da República - I Série-B (2021).
- Decreto-Lei n.º 90/2009, Diário da República (2009).
- Decreto-Lei n.º 107/2009, Diário da República 0 (2009).

Decreto-Lei n.º 119/2019, Diário da República 21 (2019). <https://dre.pt/home/-/dre/124097549/details/maximized>

Decreto-Lei Nº 152/97, Diário da República - ISÉRIE-A (1997).

Decreto-Lei n.º 152-D/2017, Pub. L. No. º 236, Diário da República (2017). <https://www.dre.pt/>

Decreto-Lei n.º 194/2009, Diário da República (2009).

Diretiva Nº. 91/271/CEE, Jornal Oficial das Comunidades Europeias (1991).

Diretiva n.º 98/15/CE, Jornal Oficial das Comunidades Europeias (1998).

Diretiva n.º 2000/60/CE, Jornal Oficial das Comunidades Europeias (2000).

Embaixada de Portugal em Singapura (2024, September 10). <https://singapura.embaixadaportugal.mne.gov.pt/pt/sobre-singapura/dados-gerais>

ERSAR. (2024). *Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (2023) - Volume 1: Caraterização do setor de águas e resíduos*.

ERSAR, & LNEC. (2017). *Guia Técnico 21 - Desenvolvimento e implementação de processos de gestão patrimonial de infraestruturas*.

Escola LBK. (n.d.). *O que é: Template*. Retrieved October 21, 2024, from <https://escolalbk.com.br/glossario/o-que-e-template/>

European Commission. (2006). *Water Reuse System Managment Manual - AQUAREC* (D. Bixio & T. Wintgens, Eds.).

European Environment Agency (EEA). (n.d.). *Sistemas de Águas Residuais Urbanas - Um Guia para não Especialistas* (S. D.Myers, Ed.). The European Water Association; Associação Portuguesa para Estudos de Saneamento Básico.

Federal-Provincial-Territorial Committee on Drinking Water;, Federal-Provincial-Territorial Committee on Environmental and Occupational Health;, & Water Quality Task Group of the Canadian Council of Ministers of the Environment; (2002). *From Source to Tap The multi-barrier approach to safe drinking water*. www.ccme.ca

Fernandes Catarino, A. R. (2018). *Reutilização de águas residuais tratadas para rega paisagística - O caso de estudo do Parque Tejo*. Instituto Superior Técnico de Lisboa.

Ferreira Silva, J. F. (n.d.). Caraterização, Modelação, Previsão e Projeção das Utilizações da Água. In *Estudos de Engenharia Hidráulica Aplicada aos Sistemas Urbanos*.

Forsyth, A. (2002). Who Built Irvine? Private Planning and the Federal Government. *Urban Studies*, 39(13). <https://doi.org/10.1080/004209802200002708>

Grundfos. (n.d.). <https://www.grundfos.com/pt>

- Instituto Português da Qualidade. (2004). *NP 4427: Sistemas de gestão da qualidade - Diretrizes para a documentação*.
- International Organization for Standardization. (2007). *ISO 24512:2007 - Water quality - Guidelines for the management of water utilities and for the assessment of drinking water service quality*.
<https://www.iso.org/standard/37248.html>
- Irvine Company. (n.d.). *Good Planning*. Retrieved September 10, 2024, from
<https://www.goodplanning.org/sustainability/water-conservation/office-properties/>
- Jodar-Abellan, A., López-Ortiz, M. I., & Melgarejo-Moreno, J. (2019). Wastewater treatment and water reuse in Spain. Current situation and perspectives. *Water (Switzerland)*, 11(8), 17–22.
<https://doi.org/10.3390/w11081551>
- Kesari, K. K., Soni, R., Jamal, Q. M. S., & et al. (2021). Wastewater Treatment and Reuse: a Review of its Applications and Health Implications. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11270-021-05154-8>
- Lee, H., & Tan, T. P. (2016). Singapore's experience with reclaimed water: NEWater. *International Journal of Water Resources Development*, 32(4), 611–621.
<https://doi.org/10.1080/07900627.2015.1120188>
- Lei n.º 88-A/97, Diário da República (1997).
- Lencastre, A. (2003). *Hidráulica Urbana e Industrial* (2003rd ed.). LNEC.
- Marecos do Monte, M. H., Loureiro dos Santos, M. T., Barreiros, A. M., & Albuquerque, A. (2016). Tratamento De Águas Residuais Operações e processos de tratamento físico e químico. In ERSAR; ISEL; UBI (Ed.), *ERSAR Série CURSOS TÉCNICOS*. <https://doi.org/10.36599/qped-978-65-5376-220-6>
- Mays, L. W. (1999). *Water Distribution System Handbook*. McGraw-Hill.
- McFarland, D. E. (1979). *Management: Principles and Practices* (5ª). Macmillan.
- Mesquita, A., Santos, C., Aleixo, C., Andrade, I., Rosário, L., Igreja, M., & Ribeiro, P. (2012). *Guia Técnico 20 - Relação das entidades gestoras com os utilizadores dos serviços de águas e resíduos* (Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, Ed.).
- Metcalf & Eddy. (2003). *Metcalf & Eddy - Wastewater Engineering Treatment and Reuse* (G. ; Tchobanouglos, F. L. ; Burton, & H. D. 4th ED. Stensel, Eds.).
- Ministério Do Ambiente e do Ordenamento do Território. (2001). *Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água*. Ministério do Ambiente e do ordenamento do território & Instituto da Água.

- Monte, H., & Albuquerque, A. (2010). *Reutilização de águas residuais de águas residuais*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos & Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Nathanson, J. A. (2019). *water supply system / Description, Purification, Distribution, & Water Quality*. Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/technology/water-supply-system>
- Objetivos de desenvolvimento sustentável*. (2015). <https://ods.pt/ods/>
- Ore, G., Bruins, H. J., & Meir, I. A. (2020). Ancient cisterns in the Negev Highlands: Types and spatial correlation with Bronze and Iron Age sites. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102227>
- PUB. (2002). *Singapore Water Reclamation Study: Expert Panel Review and Findings*.
- PUB. (2013). *Our Water, Our Future*. <https://www.pub.gov.sg/Resources/Publications/Research-and-Development>
- Qin, J.-J., Kekre, K. A., Tao, G., Oo, M. H., Wai, M. N., Lee, T. C., Viswanath, B., & Seah, H. (2006). New option of MBR-RO process for production of NEWater from domestic sewage. *Journal of Membrane Science*.
- Rebelo, A. (2018, March). *Abordagem para o desenvolvimento de práticas de reutilização da água*.
- Rebelo, A., Quadrado, M., Franco, A., Lacasta, N., & Machado, P. (2020). Water reuse in Portugal: New legislation trends to support the definition of water quality standards based on risk characterization. *Water Cycle*, 1, 41–53. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2020.05.006>
- Regulamento (CE) n.º 1137/2008, Jornal Oficial da União Europeia (2008).
- Regulamento (CE) n.º 1882/2003, Jornal Oficial da União Europeia (2003).
- Regulamento (UE) n.º 2020/741, Jornal Oficial da União Europeia (2020).
- ResearchGate - Typical processes in water treatment plants*. (n.d.). Retrieved January 29, 2025, from https://www.researchgate.net/figure/Typical-processes-in-water-treatment-plants_fig1_314276772
- Rouse, H., & Ince, S. (1957). *History of Hydraulics*. Dover Publication, Inc.
- Seah, H., Tan, T. P., Chong, M. L., & Leong, J. (2008). NEWater—multi safety barrier approach for indirect potable use. *Water Science & Technology: Water Supply*, 8(5).
- Sobre Economia Circular*. (2019). Circular Economy Portugal. <https://circulareconomy.pt/sobre-economia-circular/>
- Tan, Y. S., Lee, T. J., & Karen, T. (2009). *Clean, Green and Blue: Singapore's Journey Towards Environmental and Water Sustainability*. Institute of Southeast Asian Studies.
- Terry, G. R. (1968). *Principles of Management* (5th). Richard D. Irwin.

- Tortajada, C., & Bindal, I. (2020). Water Reuse in Singapore: The New Frontier in a Framework of a Circular Economy? In E. Shin, S. H. Choi, A. Makarigakis, O. Sohn, C. Clench, & M. Trudeau (Eds.), *Water reuse within a circular economy context* (Vol. 2). <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374715>
- Tortajada, C., Kishore Joshi, Y., & K. Biswas, A. (2013). *The Singapore Water Story: Sustainable Development in an Urban City-state*. Routledge.
- Tortajada, C., & Nambiar, S. (2019). Communications on technological innovations: Potable water reuse. *Water (Switzerland)*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/w11020251>
- UN DESA. (2022). The Sustainable Development Goals Report 2019. In *United Nations publication issued by the Department of Economic and Social Affairs*.
- União Europeia. (2023, October 16). *Tratamento de águas residuais*. Conselho Da União Europeia. <https://www.consilium.europa.eu/pt/policies/wastewater-treatment/>
- Vanier, D. J. (2000). Advanced asset management: tools and techniques. *APWA International Public Works Congress*.
- Wester, J., Timpano, K. R., Çek, D., Lieberman, D., Fieldstone, S. C., & Broad, K. (2015). Psychological and social factors associated with wastewater reuse emotional discomfort. *Journal of Environmental Psychology*, 42, 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2015.01.003>
- WWF Foundation. (2018). *Onsite non-potable water reuse - Practice guide*.

ANEXO I

1. INTRODUÇÃO

1.1. SUMÁRIO EXECUTIVO

[illegible]

1.2. ORGANIZAÇÃO DO PLANO

O Plano Tático de Gestão Patrimonial de Infraestruturas para [ano]/[ano] apresenta os seguintes elementos de referência:

- relação com outros instrumentos de planeamento;
- ligação ao planeamento estratégico;
- âmbito e horizonte do plano;
- objetivos táticos e sistema de avaliação;
- identificação de cenários no nível tático;
- diagnóstico;
- táticas para a gestão patrimonial de infraestruturas;
- recursos necessários para a implementação do plano;
- monitorização e revisão do plano;

O presente plano é ainda acompanhado pela seguinte documentação de suporte:

- documentos de caracterização da situação inicial relativa à **Informação de Base**.
- documento(s) de **Área de Análise**.

1.3. RELAÇÃO E LIGAÇÃO COM OUTROS INSTRUMENTOS DE PLANEAMENTO

O Plano Tático de Gestão Patrimonial de Infraestruturas para [ano]/[ano] está relacionado com os seguintes planos da organização:

- [designação];
 - ...
 - Ligação ao plano estratégico
- Objetivos e sistema de avaliação estratégico**

[illegible]

ANEXO II

2. ÂMBITO E HORIZONTE DO PLANO

[TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO
TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO]

Quadro 0.1 – Horizontes temporais do plano tático de GPI

Tipo	Caracterização
Âmbito do plano	[texto]
Horizonte de planeamento	Duração: [valor] anos
	Aplicação: de [data] a [data] (ano/mês/dia)
Horizontes de análise (intervalos considerados)	Táticas infraestruturais: de [valor] anos a [valor] anos
	Táticas de operação e manutenção: de [valor] anos a [valor] anos
	Outras táticas não infraestruturais: de [valor] anos a [valor] anos

ANEXO III

3. OBJETIVOS TÁTICOS E SISTEMA DE AVALIAÇÃO

3.1. DEFINIÇÃO E DESCRIÇÃO DOS OBJETIVOS TÁTICOS

[TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0
TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0]

Quadro 0.2 – Objetivos táticos

Objetivo 1 - [designação]
Descrição do objetivo: [texto]
Objetivo 2 - [designação]
Descrição do objetivo: [texto]
[...]
[...]

3.2. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

[illegible]

Quadro 0.3 – Critérios de avaliação

Objetivos táticos	Critérios de avaliação
Objetivo 1 - [designação]	Critério 1.1: [designação]
	Critério 1.#: [designação]
Objetivo 2 - [designação]	Critério 2.1: [designação]
	Critério 2.#: [designação]
[...]	[...]

[TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0
TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0]

Objetivos táticos	CrITÉRIOS de avaliação	Métricas	Código e biblioteca das métricas (+)	Valores de referência (+)
Objetivo 1: [designação]	Critério 1.1: [designação]	Métrica #: [designação] (unidades)	[cod.] [biblio]	Classe 1: [valor] Classe 2: [valor] Classe 3: [valor]
		Métrica #: [designação] (unidades)	[cod.] [biblio]	Classe 1: [valor] Classe 2: [valor] Classe 3: [valor]
		[...]	[...] [...]	[...]
	Critério 1.# [designação]	Métrica #: [designação] (unidades)	[cod.] [biblio]	Classe 1: [valor] Classe 2: [valor] Classe 3: [valor]
		[...]	[...] [...]	[...]
	[...]	[...]	[...] [...]	[...]
Objetivo 2: [designação]	Critério 2.1 [designação]	Métrica #: [designação] (unidades)	[cod.] [biblio]	Classe 1: [valor] Classe 2: [valor] Classe 3: [valor]
		[...]	[...] [...]	[...]
	Critério 2.# [designação]	Métrica #: [designação] (unidades)	[cod.] [biblio]	Classe 1: [valor] Classe 2: [valor] Classe 3: [valor]
		[...]	[...] [...]	[...]
[...]	[...]	[...]	[...] [...]	[...]

- Classe 1 - Qualidade do serviço boa;
- Classe 2 – Qualidade do serviço mediana;
- Classe 3 – Qualidade do serviço insatisfatória.

ANEXO IV

4. DEFINIÇÃO DE ÁREAS DE ANÁLISE E CENÁRIOS

[illegible]

Quadro 0.5 – Cenários identificados no nível tático

Cenário 1 - [designação]
Descrição do cenário: [texto]
Aplicação do cenário (<i>selecionar</i>): [sistema / área(s) de análise]
Designação do cenário no nível estratégico a que está associado (<i>caso aplicável</i>):[texto]
Cenário # - [designação]
Descrição do cenário: [texto]
Aplicação do cenário (<i>selecionar</i>): [sistema / área(s) de análise]
Designação do cenário no nível estratégico a que está associado (<i>caso aplicável</i>):[texto]

ANEXO V

5. DIAGNÓSTICO

5.1. IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DA INFORMAÇÃO DISPONÍVEL

[illegible]

Quadro 0.6 – Informação utilizada no plano tático

Informação utilizada	Origem	Fiabilidade (a) <i>(selecionar um ícone)</i>	Existência de lacunas <i>(selecionar um ícone)</i>	Descrição das principais lacunas
Cadastro	[texto]	[*/**/***]	[✓/✗]	[texto]
Sistemas de informação geográfica	[texto]	[*/**/***]	[✓/✗]	[texto]
Clientes	[texto]	[*/**/***]	[✓/✗]	[texto]
Ordens de serviço	[texto]	[*/**/***]	[✓/✗]	[texto]
Monitorização inspeção	[texto]	[*/**/***]	[✓/✗]	[texto]

Nota: Informação mais detalhada no documento de caracterização da situação inicial relativa à Informação de Base

(a) Classes de fiabilidade (Guia Técnico 19 - ERSAR e LNEC, 2013):

*** - dados baseados em medições exaustivas, registos fidedignos, procedimentos, investigações ou análises adequadamente documentadas e reconhecidas como o melhor método de cálculo;

** - genericamente como a anterior, mas com algumas falhas não significativas nos dados, tais como parte da documentação estar em falta, os cálculos serem antigos, ou ter-se confiado em registos não confirmados, ou ainda terem-se incluídos alguns dados por extrapolação;

* - Dados baseados em estimativas ou extrapolações a partir de uma amostra limitada.

[illegible]

5.2. Avaliação global da situação de referência

[TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0
TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0]

Quadro 0.7 – Avaliação global da situação de referência do sistema no tempo inicial ([ano]

	Resultado da métrica	Classificação <i>Plan AWARE-P</i> (selecionar um ícone)	Apreciação crítica
Critério 1.1: [designação]			
Métrica #: [designação] (unidades)	[valor]	[●●●●]	[texto]
[...]	[...]	[...]	[...]
Critério 1. #: [designação]			
Métrica #: [designação] (unidades)	[valor]	[●●●●]	[texto]
[...]	[...]	[...]	[...]
Critério #: [designação]			
[...]	[...]	[...]	[...]

5.3. Estabelecimento de metas

[TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXTOTEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0
TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0]

Quadro 0.8 – Metas aplicadas em diferentes momentos de avaliação

Métricas	Resultado da métrica na situação de referência tempo inicial ([ano])	Metas		
		t# ([ano])	t# ([ano])	tN ([ano])
Critério 1.1: [designação]				
Métrica #: [designação] (unidades)	[valor]	[valor]	[valor]	[valor]
Métrica #: [designação] (unidades)	[valor]	[valor]	[valor]	[valor]
[...]	[...]	[...]	[...]	[...]
Critério 1. #: [designação]				
Métrica #: [designação] (unidades)	[valor]	[valor]	[valor]	[valor]
[...]	[...]	[...]	[...]	[...]
Critério #. #: [designação]				
[...]	[...]	[...]	[...]	[...]

5.4. Previsão da situação futura para cada cenário definido/alternativo à situação de referência

[illegible]

Quadro 0.9 – Avaliação da situação futura no cenário # - [designação]

[illegible]

(^a) Nesta avaliação incluem-se apenas as métricas cuja classificação pode sofrer alteração neste cenário

5.5. Identificação dos problemas que afetam sistema de ApR a nível global

[TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXTOTEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0
TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0]

Quadro 0.10 – Problemas identificados ao nível tático

Informação disponível
Descrição do(s) problema(s): • [texto] • [...]
Avaliação global do sistema
Descrição do(s) problema(s): • [texto] • [...]
Organizacional
Descrição do(s) problema(s): • [texto] • [...]
[texto]
Descrição do(s) problema(s): • [texto] • [...]

5.6. Hierarquização das áreas de análise

[TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0
TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0]

Quadro 0.11 – Hierarquização das áreas de análise com base na evolução prevista para asituação de referência na alternativa *statu quo*

[illegible]

ANEXO VI

6. TÁTICAS PARA A GESTÃO PATRIMONIAL DE INFRAESTRUTURAS

6.1. Definição das táticas

[TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXTOTEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0
TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0 TEXT0]

Quadro 0.12 – Táticas não infraestruturais (TNI) / Táticas de operação e manutenção (TOM) /Táticas infraestruturais (TIF)

[illegible]

6.2. Identificação dos recursos necessários

[illegible]

Quadro 0.13 – Recursos humanos / financeiros / tecnológicos necessários à implementação do plano tático de GPI

Táticas <i>(selecionar tipo de tática)</i>	Discriminação de recursos humanos/ financeiros / tecnológicos	Data/ período inicial	Data/ período intermédio	Data/ período de conclusão
		t# ([ano])	t# ([ano])	t# ([ano])
[TIF / TOM / TNI] #: [designação]	[texto]	[valor]	[valor]	[valor]
[TIF / TOM / TNI] #: [designação]	[texto]	[valor]	[valor]	[valor]
[...]	[...]	[...]	[...]	[...]

ANEXO VII

7. PLANEAMENTO DA MONITORIZAÇÃO

[illegible]

Quadro 0.14 – Planejamento de atividades de monitorização

Atividades	Periodicidade (meses)	Comentários <i>(responsabilidades e informação relevante)</i>
Recolha de informação para cálculo de métricas	[valor]	[texto]
Recolha de informação para avaliação do nível de implementação de táticas	[valor]	[texto]
Compilação e análise de informação (preenchimento dos quadros do Anexo 4)	[valor]	[texto]
Reporte e divulgação dos resultados da monitorização do plano tático	[valor]	[texto]

[TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO TEXTOTEXTO TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO
TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO TEXTO]

Quadro 0.15 – Planeamento de atividades de deteção de desvios ao plano tático

Atividades	Periodicidade (meses)	Comentários (responsabilidades e informação relevante)
Recolha de informação para identificação de ocorrências não previstas com impacto na implementação do plano	[valor]	[texto]
Compilação e análise de informação (preenchimento dos quadros do Anexo 5)	[valor]	[texto]
Reporte e divulgação dos resultados da análise dos desvios ao plano tático	[valor]	[texto]

ANEXO VIII

8. PLANEAMENTO DA REVISÃO

[illegible]

Quadro 0.16 – Planeamento de atividades de revisão

Atividades	Periodicidade (meses)	Comentários (responsabilidades e informação relevante)
Análise dos resultados da monitorizaçãodo plano	[valor]	[texto]
Análise dos resultados dos desvios dos desvios na implementação do plano	[valor]	[texto]
Compilação e análise de informação (preenchimento dos quadros do Anexo 6)	[valor]	[texto]
Reporte e divulgação dos resultados da revisão do plano tático	[valor]	[texto]